

Universidad Carlos III, Departamento de Inteligencia Artificial
Aplicada (GIAA)

Aruba 2400

Proyecto Fin de Carrera, Ingeniería en Informática

Autor: Alberto Pozo Esteban
Tutor: Antonio Berlanga de Jesús
Director: Gonzalo Blázquez Gil
06/10/2009

*A mi familia por el apoyo incondicional.
A Carol por quererme y aguantarme.
Y a los Danis&Co por hacer aún mejor
la experiencia de la universidad.*

TABLA DE CONTENIDO

Índice de imágenes	iv
Índice de tablas.....	vi
Índice de Gráficos	vii
Resumen.....	viii
Abstract	viii
Résumé	viii
I. Introducción.....	1
Objetivos	1
Estructura del Documento.....	2
II. Análisis de Comunicación.....	3
WI-FI.....	3
Historia	3
Características Generales	4
Funcionamiento	6
Funcionamiento Físico WI-FI IEEE 802.11	6
Funcionamiento Lógico WI-FI IEEE 802.11.....	7
Funcionamiento Localización mediante redes WI-FI	8
Estandarización.....	10
IEEE 802.11a.....	11
IEEE 802.11b	12
IEEE 802.11.g.....	12
IEEE 802.11n	14
Resumen y Comparación	16
Dispositivos.....	17
Otras Tecnologías	22
UltraWideBand	22
Historia.....	22
Características Generales	22
Funcionamiento.....	23
Estandarización	23
Zigbee	26
Historia.....	26
Características Generales	27
Funcionamiento.....	27
Estandarización	29
Diccionario de Términos	30

III. Manual de Instalación.....	32
Instalación y configuración de la red inalámbrica Aruba.....	32
Instalación de la infraestructura	32
Instalación del switch.....	32
Instalación de los puntos de acceso	32
Instalación de los clientes.....	33
Configuración del switch	34
Vía Telnet	34
Vía Ethernet.....	41
Vía wifi.....	47
Configuración de los puntos de acceso.....	49
Gestión del plan físico	49
Gestión lógica.....	49
Gestión física (Replanteo)	52
IV. Presupuesto de implantación del sistema.....	54
Recursos Software.....	54
Recursos Hardware	54
Planificación.....	55
Recursos Humanos	55
Resumen.....	56
V. Mediciones.....	58
Proceso de medición	58
Descripción general.....	58
Localización.....	58
Creación del plan.....	58
Replanteo	59
Instalación del Sistema.....	59
Medición	60
Análisis de los resultados	64
Conclusiones	66
Entorno 1: GIAA y Pasillo	66
Localización.....	66
Creación del plan.....	67
Replanteo	68
Instalación del Sistema.....	69
Medición	72
Conclusiones	74
Entorno 2: Atrio.....	75

Localización.....	75
Creación del plan.....	76
Replanteo	77
Instalación del Sistema.....	77
Medición	80
Conclusiones	82
Entorno 3: Sala de Juntas.....	83
Localización.....	83
Creación del plan.....	84
Replanteo	85
Instalación del Sistema.....	87
Medición	89
Conclusiones	90
Entorno 4: Garaje.....	91
Localización.....	91
Creación del plan.....	91
Replanteo	93
Instalación del Sistema.....	93
Medición	94
Conclusiones	96
Entorno 5: Jardín.....	97
Localización.....	97
Creación del plan.....	97
Replanteo	98
Instalación del Sistema.....	98
Medición	101
Conclusiones	102
VI. Anexo A: Programa de Medición	104
es.uc3m.giaa.aruba.entradaSalida	104
es.uc3m.giaa.aruba.http	105
es.uc3m.giaa.aruba.localizacion	106
es.uc3m.giaa.aruba.principal	108
es.uc3m.giaa.aruba.xml	108

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Esquema de conexión entre red inalámbrica y red cableada	4
Imagen 2: Esquema puente LAN inalámbrico	5
Imagen 3: Longitud de Onda.....	6
Imagen 4: Problema del Multitrayecto	8
Imagen 5: Principio de la triangulación	9
Imagen 6: Posicionamiento bidimensional con dos puntos.....	10
Imagen 7: Multiple-input Multiple-output.....	16
Imagen 8: Ranuras PCI	18
Imagen 9: Tarjeta de red Inalámbrica PCI	19
Imagen 10: Ranura Mini-PCI Express	20
Imagen 11: Intel® PRO/Wireless 3945ABG Network Connection.....	20
Imagen 12: Tarjeta de Red Inalámbrica USB	21
Imagen 13: Comparación OSI y 802.15	24
Imagen 14: Capas ZigBee	27
Imagen 15: Red en malla ZigBee	28
Imagen 16: Arquitectura OSI.....	31
Imagen 17: Switch aruba.....	32
Imagen 18: Punto de acceso Aruba.....	33
Imagen 19: Cable serie (ordenador).....	35
Imagen 20: Cable serie (switch).....	36
Imagen 21: Selección del puerto	37
Imagen 22: Parametros de la conexión	38
Imagen 23: autenticación y validación	39
Imagen 24: Comando "?"	40
Imagen 25: salida de show configuración	41
Imagen 26: Usuario y contraseña.....	42
Imagen 27: Esquema de funcionalidades	43
Imagen 28: Gestion de VLANS.....	44
Imagen 29: Servidor DHCP	45
Imagen 30: Función ping.....	46
Imagen 31: Software status (AP)	46
Imagen 32: Topología de la red	47
Imagen 33: Aproximación planta pasillo.....	50
Imagen 34: Aproximación de una medidad.....	50
Imagen 35: Creación de un nuevo edificio	51
Imagen 36: Asignación de la posición a los AP's (1)	52
Imagen 37: Asignación de la posición a los AP's (2)	52
Imagen 38: Diagrama de Gantt	55
Imagen 39: Plan gráfico	59
Imagen 40: Triangulación	60
Imagen 41: Fichero XML Localización	64
Imagen 42: Ejemplo visualización geogebra.....	65
Imagen 43: Planos del pasillo y GIAA.....	67
Imagen 44: Plan pasillo y GIAA.....	67
Imagen 45: Replanteo de una posición	68
Imagen 46: Eje imaginario del pasillo.....	68
Imagen 47: Antena del laboratorio	69
Imagen 48: Quinta antena del laboratorio.....	70

Imagen 49: Antena instalada en el pasillo.....	71
Imagen 50: Ejemplo de mala localización	72
Imagen 51: Geometría del segundo entorno.....	75
Imagen 52: Planos del atrio.....	76
Imagen 53 Plan atrio.....	76
Imagen 54: Ejes imaginarios del segundo entorno	77
Imagen 55: Foto Dispositivo situado fuera del área de las antenas	78
Imagen 56: Plano Dispositivo situado fuera del área de las antenas.....	78
Imagen 57: Despliegue segundo entorno (1).....	79
Imagen 58: Despliegue segundo entorno (2).....	80
Imagen 59: Error de la quinta medición segundo entorno	82
Imagen 60: Geometría del tercer entorno.....	84
Imagen 61: Plan sala de juntas.....	84
Imagen 62: Ejes imaginarios del tercer entorno	85
Imagen 63: Despliegue de los ejes del tercer entorno (1)	86
Imagen 64: Despliegue de los ejes del tercer entorno (2).....	87
Imagen 65: Antena del tercer entorno	88
Imagen 66: Despliegue de cables del tercer entorno	88
Imagen 67: Área posible de localización.....	91
Imagen 68: Plano del garaje.....	92
Imagen 69: Plan Garaje	93
Imagen 70: Configuración antenas del cuarto entorno	94
Imagen 71: Despliegue de cables del cuarto entorno.....	94
Imagen 72: Localización posición cuatro del cuarto entorno.....	96
Imagen 73: Plan Jardín	98
Imagen 74: Configuración antenas del quinto entorno	99
Imagen 75: Despliegue de cables del quinto entorno (I)	100
Imagen 76: Despliegue de cables del quinto entorno (II).....	101
Imagen 77: Clases del paquete entradaSalida	105
Imagen 78: Clases del paquete http.....	106
Imagen 79: Clases del paquete localizacion	108
Imagen 80: Clases del paquete principal.....	108
Imagen 81: Clases del paquete xml.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estándares de la familia IEEE 802.11.....	3
Tabla 2: CANALES DEL ESTÁNDAR 802.11a	12
Tabla 3: Canales del estándar 802.11g.....	13
Tabla 4: Canales no solapados 802.11g.....	14
Tabla 5: Distancia máxima de conexión.....	14
Tabla 6: Resumen y Comparación protocolo 802.11x	16
Tabla 7: Rangos de frecuencia (802.15.4).....	25
Tabla 8: Coste de los recursos software.....	54
Tabla 9: Coste de los recursos hardware.....	55
Tabla 10: Tareas del proyecto.....	55
Tabla 11: Coste de los recursos humanos	56
Tabla 12: Resumen presupuesto.....	56
Tabla 13: Datos de medición	63
Tabla 14: Localización en el primer entorno	73
Tabla 15: Medida del error en el primer entorno	73
Tabla 16: Distancia media del error en el primer entorno	74
Tabla 17: Localización en el segundo entorno	80
Tabla 18: Medida del error en el segundo entorno	81
Tabla 19: Distancia media del error en el segundo entorno	81
Tabla 20: Localización en el tercer entorno	89
Tabla 21: Medida del error en el tercer entorno	89
Tabla 22: Distancia media del error en el tercer entorno	90
Tabla 23: Localización en el cuarto entorno	95
Tabla 24: Medida del error en el cuarto entorno	95
Tabla 25: Distancia media del error en el cuarto entorno.....	95
Tabla 26: Localización en el quinto entorno	101
Tabla 27: Medida del error en el quinto entorno.....	102
Tabla 28: Distancia media del error en el quinto entorno	102

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Velocidad de Transmisión	17
Gráfico 2: Alcance de emisión	17
Gráfico 3: Gastos parciales del presupuesto	56
Gráfico 4: Desglose del gasto del presupuesto.....	57
Gráfico 5: Distancia del error en el primer entorno.....	74
Gráfico 6: Distancia del error en el segundo entorno.....	83
Gráfico 7: Distancia del error en el tercer entorno.....	90
Gráfico 8: Distancia del error en el cuarto entorno.....	96
Gráfico 9: Distancia del error en el quinto entorno	102

RESUMEN

En la actualidad las tecnologías de redes de ordenadores inalámbricas están cobrando cada vez más importancia, siendo su principal exponente la tecnología Wi-Fi especificada en el estándar IEEE 802.11.

Una de las posibles funcionalidades añadidas de dichas tecnologías es la posibilidad de realizar la localización espacial de dispositivos conectados a las redes inalámbricas mediante sistemas de triangulación de la señal.

Existen diferentes sistemas de localización basados en diferentes tecnologías inalámbricas de redes de ordenadores, siendo su precisión, coste y autonomía variable entre cada una de las opciones.

El sistema Aruba 2400 ofrece la posibilidad de realizar la localización espacial de dispositivos móviles mediante el despliegue de una red de ordenadores inalámbrica basada en tecnología Wi-Fi. Su principal ventaja reside en la reutilización de la misma red tanto para la localización como para la conexión de los ordenadores entre sí y con Internet.

El presente documento muestra un estudio del estado actual de las tecnologías inalámbricas así como de la utilización del sistema Aruba 2400 para la localización espacial de dispositivos móviles.

ABSTRACT

Currently wireless network technologies are becoming more and more important, and Wi-Fi technology is the most important of those.

An additional possible function of this type of technologies is the location of devices connected to the network.

There are different types of location systems based on different wireless technologies, and the price, precision, and battery life vary accordingly.

This document will show a study of the current state of wireless technologies, as well as a specific study of the localization system Aruba 2400.

RESUME

De nos jours les procédés des réseaux informatiques sans fil gagnent de plus en plus d'importance, notamment la technologie Wi-Fi, que l'on retrouve au standard IEEE 802.11.

Une des possibles fonctions ajoutées à ces technologies est la possibilité de réaliser la localisation spatiale de dispositifs connectés aux réseaux sans fil à travers un système de triangulation du signal.

Il existe divers systèmes de localisation basés sur différentes technologies de réseaux sans fil, où la précision, le coût et l'autonomie varient dans chacun des cas.

Le système Aruba 2400 offre la possibilité de réaliser une localisation spatiale de dispositifs mobiles grâce à la mise en place d'un réseau d'ordinateurs sans fil basé sur la technologie Wi-Fi. Le principal avantage est de pouvoir utiliser le même réseau aussi bien pour la localisation que pour la connexion des ordinateurs entre eux et à Internet.

Ce document montre une étude de l'état actuel des technologies sans fil, tout comme l'utilisation du système Aruba 2400 pour la localisation spatiale des dispositifs mobiles.

I. INTRODUCCIÓN

Desde la creación del concepto de red de ordenadores a finales de la década de los 50 su desarrollo e implementación ha ido creciendo de manera exponencial hasta el día de hoy.

A finales de la década de los 60 aparecieron las primeras implementaciones prácticas, no siendo hasta la década de los 80 cuando se empezaron a sentar las bases de lo que hoy es una de las invenciones humanas más revolucionara y prometedora de la era contemporánea: Internet.

El aumento en el uso y fabricación de sistemas de comunicación entre ordenadores promovió el aumento de su sofisticación, llegando a nuevos sistemas más rápidos, económicos y accesibles a todo el mundo.

Además, esta sofisticación supuso la división de los sistemas de comunicación entre ordenadores en dos grandes grupos: sistemas por cable y sistemas inalámbricos.

Éstos últimos son el objeto de estudio en este trabajo de fin de carrera, en el que se tratará de dar una noción general de las diferentes tecnologías presentes en el mercado, así como de sus principales características y funcionalidades. Prestando especial atención a la tecnología Wi-Fi descrita en el estándar del IEEE 802.11.

La tecnología Wi-Fi se ha convertido en la más extendida a la hora de realizar redes de ordenadores inalámbricas y se encuentra presente en gran cantidad de empresas y hogares de todo el mundo. Además, su constante evolución propicia que esta tendencia se mantenga al alza, siendo cada vez más extendido el uso de esta tecnología.

El momento en que se ha realizado este trabajo (año 2009) es un momento especialmente importante para el futuro de dicha tecnología, ya que será en este año (previsiblemente en el mes de septiembre) cuando se publique de forma definitiva el nuevo estándar del IEEE 802.11n, llamado a ser el futuro de las telecomunicaciones inalámbricas en todo el mundo.

Este documento se ha desarrollado en base al segundo borrador definitivo publicado por el IEEE, que será previsiblemente muy similar al estándar finalmente aprobado.

Además, en este documento se presenta un informe muy detallado sobre el sistema (basado en tecnología Wi-Fi) Aruba 2400. Gracias al cual se puede desplegar una red inalámbrica con funcionalidades extra muy provechosas.

Este documento presenta un amplio manual de instalación del sistema Aruba 2400, con el que se puede, entre otras cosas, realizar la localización de dispositivos móviles conectados a la red. El documento presenta además un completo estudio sobre todos los parámetros importantes de dicha funcionalidad (como precisión, fiabilidad, capacidad, etc.), así como instrucciones precisas de cómo llevarla a cabo.

OBJETIVOS

Los objetivos fundamentales de este documento pueden resumirse en cuatro:

En primer lugar realizar un estudio exhaustivo del estado de la tecnología Wi-Fi, incluyendo su historia, funcionamiento, características principales, posibles aplicaciones, y competidores en el mercado.

En segundo lugar se presenta un completo y amplio manual del sistema Aruba, abarcando desde su instalación hasta el uso como sistema localizador de dispositivos, pasando por todos los procesos de configuración e instalación intermedios.

En tercer lugar realizar un completo estudio sobre la localización proporcionada por el sistema Aruba. Obteniendo datos experimentales en diferentes entornos y con diferentes características y procediendo al análisis de los resultados y a la obtención de conclusiones.

ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

La memoria presentada está estructurada en cuatro capítulos según se indica a continuación:

Capítulo 1: Breve introducción y presentación del documento. Presentación de los objetivos perseguidos y la estructura del documento.

Capítulo 2: Descripción detallada de las diferentes tecnologías inalámbricas de comunicación entre computadores. Prestando especial atención a la tecnología Wi-Fi (IEEE 802.11), presentando su historia, características generales, funcionamiento, estandarización y dispositivos existentes en el mercado.

Capítulo 3: Manual de instalación y puesta en funcionamiento del sistema Aruba 2400. Completo y detallado abarca desde la instalación del sistema hasta la utilización de la funcionalidad de localización de dispositivos. Ilustrando cada situación con imágenes y ejemplos prácticos.

Capítulo 4: Presentación y análisis de los experimentos de localización con el sistema Aruba 2400 llevados a cabo en la universidad Carlos III de Madrid. Estudio de los diferentes entornos utilizados, presentación de los resultados obtenidos, análisis detallado de los factores influyentes y conclusiones obtenidas.

Capítulo 5: Por último se presenta en un anexo la documentación correspondiente al programa utilizado para realizar las mediciones con el sistema Aruba 2400. En él se presenta una descripción detallada de cada una de las clases del programa, así como la explicación de su funcionamiento y uso.

II. ANÁLISIS DE COMUNICACIÓN

WI-FI

Es un sistema de envío de datos inalámbrico sobre redes computacionales mediante ondas de radio.

Se encuentra definido en el estándar IEEE std 802.11-2007¹, documento que engloba a su vez diferentes versiones del protocolo en diferentes frecuencias de operaciones.

La siguiente tabla muestra las diferentes versiones del protocolo existentes, así como su frecuencia de operaciones:

Versión del Protocolo	Frecuencia de Banda	Año
802.11a	5 GHz	1999
802.11b	2'4 GHz	1999
802.11g	2'4 GHz	2003
802.11n	2'4 GHz - 5 GHz	2010

TABLA 1: ESTÁNDARES DE LA FAMILIA IEEE 802.11

El siguiente documento tratará sobre cada una de las versiones del protocolo, si bien los experimentos de localización se han realizado con la versión 802.11g.

HISTORIA

La tecnología WI-FI nace de la necesidad de algunos usuarios y redes de obtener movilidad en sus conexiones de datos. De esta manera se plantea la utilidad de redes inalámbricas que permitan ampliar o sustituir las ya existentes redes de área local cableadas.

De esta forma, mediante el uso de ondas de radio, se consigue extender la conectividad de manera flexible, permitiendo a cualquier usuario que se encuentre dentro del área de cobertura conectarse a la red, además de proporcionar una topología flexible y fácilmente adaptable.

Con esta necesidad, la tecnología WI-FI nació en 1.999 de la mano de la asociación WECA² (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*) formada por Nokia y Symbol Technologies.

En ese mismo año se crean los estándares 802.11a y 802.11b, partiendo de la base del estándar ya existente para redes Ethernet (802.3) y creando un sustituto en la capa física y de enlace.

Tres años después la asociación contaba ya con aproximadamente 150 miembros, y en el año 2.003 cambia su nombre por el de WI-FI Alliance.

¹ <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2007.pdf>

² <http://www.wi-fi.org/>

Ese mismo año lanza una nueva versión del estándar: 802.11g, tratando de mejorar las prestaciones de la versión 802.11b.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Una de las características importantes de las redes WI-FI es que pueden implementarse como parte de una LAN, complementando a una red cableada y añadiendo flexibilidad en la topología y movilidad para los usuarios.

La siguiente imagen muestra la conexión entre una red inalámbrica y una red cableada mediante un punto de acceso (AP).



IMAGEN 1: ESQUEMA DE CONEXIÓN ENTRE RED INALÁMBRICA Y RED CABLEADA

Es importante añadir que las redes inalámbricas pueden componerse de diversos puntos de acceso, y que los dispositivos pueden intercambiar el AP utilizado para la conexión sin necesidad de desconectarse y de manera transparente para el usuario. De la misma manera que un teléfono móvil puede obtener cobertura de diferentes antenas a medida que cambiamos de posición.

Además, existen dispositivos preparados para conectar partes especialmente alejadas de la red, como por ejemplo entre dos edificios diferentes. Dichos dispositivos, llamados puentes LAN inalámbricos permiten obtener redes WI-FI con una topología similar a la conseguida mediante la conexión de fibra óptica entre diferentes redes cableadas.

La siguiente imagen ilustra un esquema conceptual de dos redes WI-FI interconectadas mediante un puente LAN inalámbrico. Nótese que un AP puede hacer las funciones de puente LAN inalámbrico en caso de que las distancias sean suficientemente reducidas.

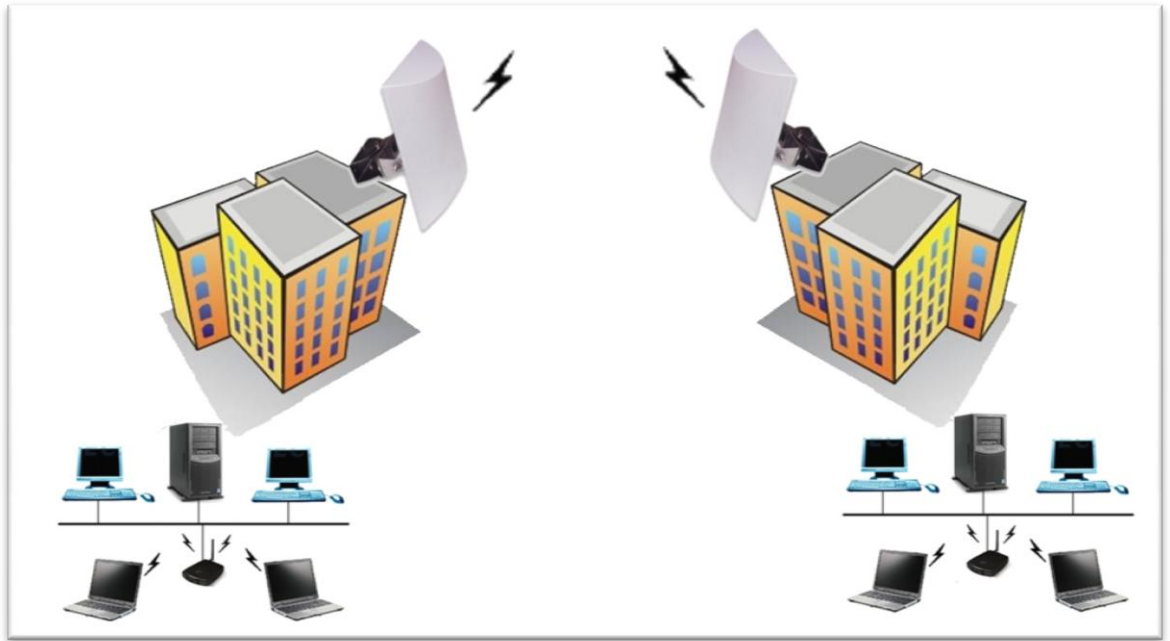


IMAGEN 2: ESQUEMA PUENTE LAN INALÁMBRICO

Por lo tanto existen tres componentes fundamentales en una red WI-FI, éstos son:

- **Adaptador LAN:** Un adaptador inalámbrico LAN contiene los componentes equivalentes a los encontrados en un adaptador para redes cableadas, ya que cumple la misma función. Además contiene todo lo necesario para establecer la conexión mediante ondas de radio, disponiendo habitualmente de una antena para ampliar y mejorar la recepción/emisión de la señal.
- **Punto de Acceso:** Consiste en el equivalente a un Hub en una red cableada. Permite conectar varios dispositivos de forma simultánea (proporcionándoles cobertura) y puede servir de enlace entre la red inalámbrica y la red cableada. Típicamente proporcionan una cobertura de entre 20 y 500 metros, y soportan entre 15 y 250 conexiones inalámbricas. Es importante destacar que la posibilidad de conectar varios puntos de acceso sin ninguna dificultad proporciona una gran escalabilidad a este tipo de redes.
- **Puente LAN inalámbrico:** Permiten la conexión entre redes inalámbricas de diferentes edificios. Pueden ser desde un punto de acceso simple (para distancias reducidas) hasta aparatos especializados con antenas direccionales (para distancias más elevadas).

FUNCIONAMIENTO

En esta sección se explica el funcionamiento del sistema de localización mediante la tecnología WI-FI, para ello lo dividiremos en tres partes. En las dos primeras se explicarán las nociones básicas del funcionamiento WI-FI, y en la tercera el funcionamiento de su aplicación a sistemas de localización.

FUNCIONAMIENTO FÍSICO WI-FI IEEE 802.11

Las redes WI-FI pueden tener tres comportamientos alternativos en su capa física. Cada uno de los cuales es perfectamente compatible con la capa superior, pudiéndose utilizar cada una de las opciones indistintamente.

Las diferentes alternativas son:

- *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS)
- *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS)
- Infrarrojos (IR)

Todas las alternativas se basan en la emisión de ondas electromagnéticas, en las que se cumple la ecuación:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde:

- λ , longitud de onda (en metros). Define la distancia existente entre dos puntos en fase consecutivos de la onda, típicamente entre dos montes consecutivos.

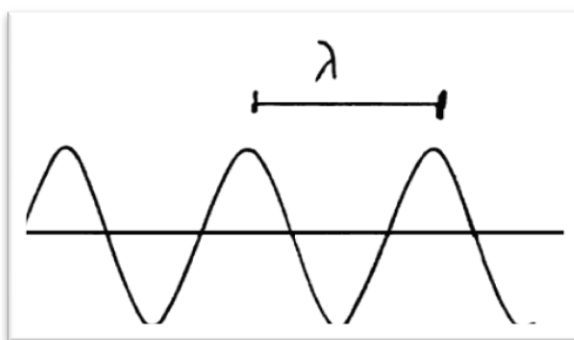


IMAGEN 3: LONGITUD DE ONDA

- c , velocidad de la luz en el vacío (en *metros/segundo*). Equivale a $3 \cdot 10^8$ m/s.
- f , frecuencia de la onda (en *Hercios o segundos⁻¹*). Se define matemáticamente como la inversa del periodo. Representa el número de oscilaciones que se producen por unidad de tiempo.

$$f = \frac{1}{T}$$

Dado que el índice de refracción del aire es aproximadamente uno, la longitud de la onda en el vacío tiene un valor similar al de la longitud de la onda en el aire.

Debido a que la onda electromagnética encuentra en su viaje electrones a los que cede parte de su energía, a medida que aumenta el recorrido de la señal ésta va perdiendo intensidad.

Además, debido al fenómeno de difracción, una misma onda reflejada en diferentes obstáculos del entorno puede llegar por dos caminos diferentes. De esta manera la onda puede interferir consigo misma, disminuyendo la calidad de la misma. A este problema se le conoce con el nombre de multitrayecto, y será explicado con más detalle en el apartado Funcionamiento Lógico WI-FI IEEE 802.11.

La robustez frente a estos problemas es por tanto una de las prioridades a la hora de diseñar los algoritmos que transportaran la información, tal y como se explica más adelante.

FUNCIONAMIENTO LÓGICO WI-FI IEEE 802.11

Dentro del estándar 802.11 existen varias versiones que especifican diferentes tipos de redes inalámbricas, tal y como se verá en el apartado Estandarización.

Cada una de las cuales utiliza un algoritmo de acceso para codificar la información. A continuación se detallan cada uno los algoritmos utilizados por las distintas versiones del estándar:

Complementary Code Keying (CCK):

Una primera versión del algoritmo fue creado en 1961 por Marcel J. E. Golay. En esta primera versión se definen un número finito de secuencias de igual longitud, tal que el número de pares de elementos idénticos con un separador dado en una frecuencia es igual al número de pares de elementos diferentes con el mismo separador en el resto de secuencias.

CCK es una mejora de dicho algoritmo creada por Lucent Technologies and Harris Semiconductor, y recogida en el estándar 802.11b para la codificación de la información enviada.

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM):

Dicho algoritmo permite transmitir un conjunto de ondas portadoras en diferentes frecuencias, codificando en ellas la información mediante QAM³ o PSK⁴.

En general, debido al problema técnico que supone la detección y generación de los cientos de portadoras equiespaciadas en tiempo continuo, los procesos de modulación y demodulación se realizan en tiempo discreto mediante la IDFT⁵ y DFT⁶ respectivamente.

³ *Quadrature Amplitude Modulation*: Técnica de modulación avanzada para transportar datos utilizando tanto la amplitud como la fase de la onda.

⁴ *Phase Shift Keying*: Técnica de modulación avanzada para transportar datos mediante la variación de la fase entre un número de valores discretos.

⁵ *Inverse Discrete Fourier Transform*: Función que nos permite volver a la señal original a partir de su transformada de Fourier (DFT).

Una de las principales características del algoritmo OFDM es su robustez ante diversos problemas típicos de las transmisiones de ondas de radio, tales como multitrayecto, atenuaciones selectivas o interferencias de radiofrecuencia.

El problema del multitrayecto consiste en el hecho de que una misma onda llegue a su destino siguiendo varios caminos diferentes (por ejemplo, uno directo y otro reflejado) y por tanto en dos instantes diferentes.

La siguiente imagen ilustra un ejemplo de multitrayecto:

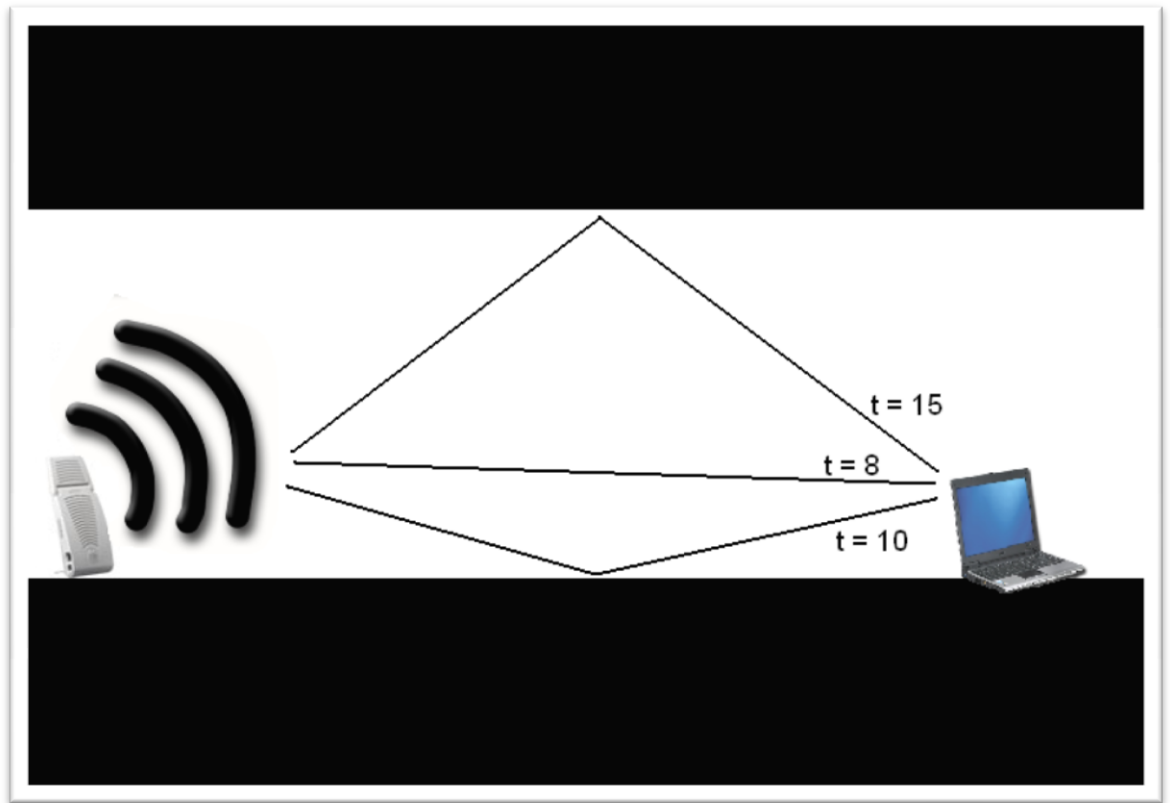


IMAGEN 4: PROBLEMA DEL MULTITRAYECTO

FUNCIONAMIENTO LOCALIZACIÓN MEDIANTE REDES WI-FI

Para la localización de la posición mediante redes WI-FI se utiliza el sistema de triangulación.

La medida física utilizada para realizar la triangulación se conoce como RSSI, y representa la intensidad con que la señal inalámbrica llega al punto de acceso.

Según establece el protocolo 802.11 el RSSI (*received signal strength indication*) es medido por la capa física en función de la energía recibida en la antena empleada para capturar el paquete.

En función de este parámetro, y teniendo en cuenta unas condiciones estables y conocidas, puede calcularse la distancia aproximada a la que se encuentra la antena receptora.

⁶ *Discrete Fourier Transform*: Transforma de Fourier que nos permite el análisis en frecuencia de la señal muestreada.

ra de la emisora. De esta manera, utilizando el principio de la triangulación puede conocerse el lugar desde el que se realizó la emisión si ésta llega a un número adecuado de antenas receptoras.

En el caso del dispositivo utilizado para los experimentos (Aruba 2400) las medidas del RSSI obtenidas resultan valores positivos que en función de las características del entorno calculadas por el sistema pueden representar diferentes medidas. De manera aproximada, un valor de RSSI cercano a 30 unidades, equivale a una distancia de aproximadamente 38 pies (11'58 metros) entre el AP receptor y el dispositivo emisor⁷.

La siguiente imagen ilustra el principio de la triangulación, los radios de las circunferencias representan la distancia calculada entre cada una de las antenas receptoras y el dispositivo emisor (calculado en función del RSSI):

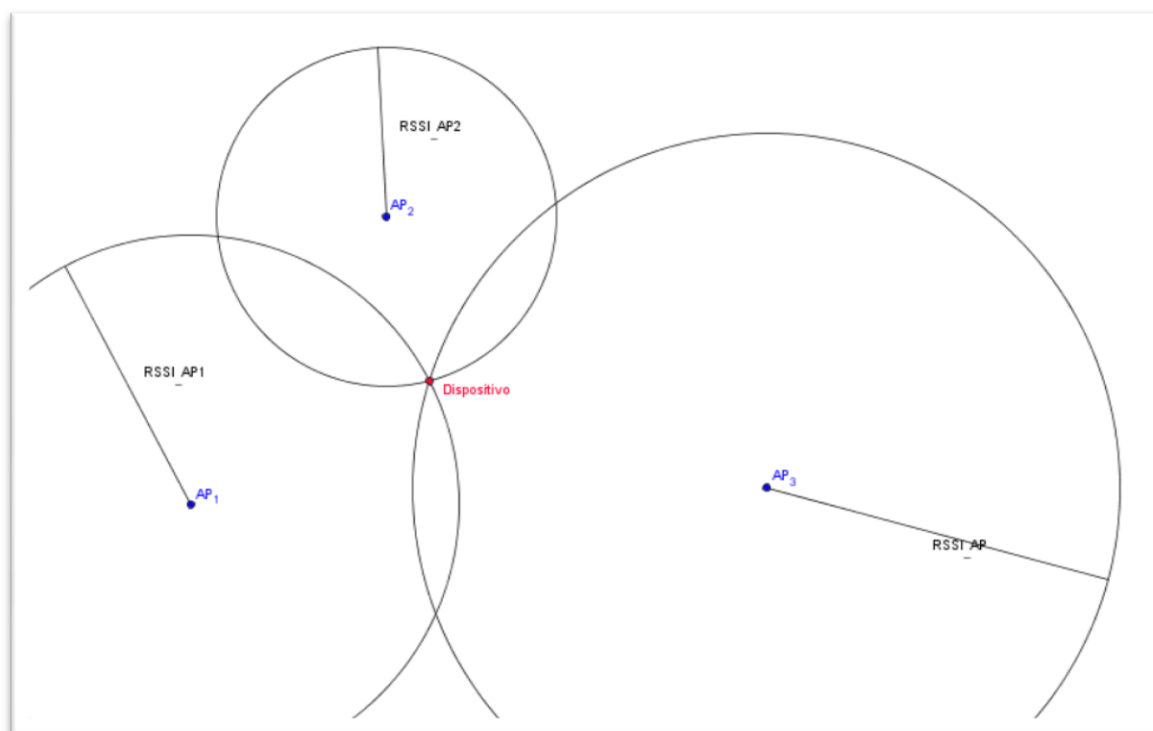


IMAGEN 5: PRINCIPIO DE LA TRIANGULACIÓN

Respecto al número mínimo de dispositivos receptores necesarios para realizar la localización deben observarse varias cosas. En primer lugar debe notarse que si el número es igual al número de coordenadas a calcular (por ejemplo dos en un espacio bidimensional), el conjunto de posibles soluciones contiene dos soluciones diferentes. Tal y como se muestra en la siguiente imagen:

⁷ Este cálculo es una medida aproximada tras realizar la media con un número elevado de ejemplos diferentes.

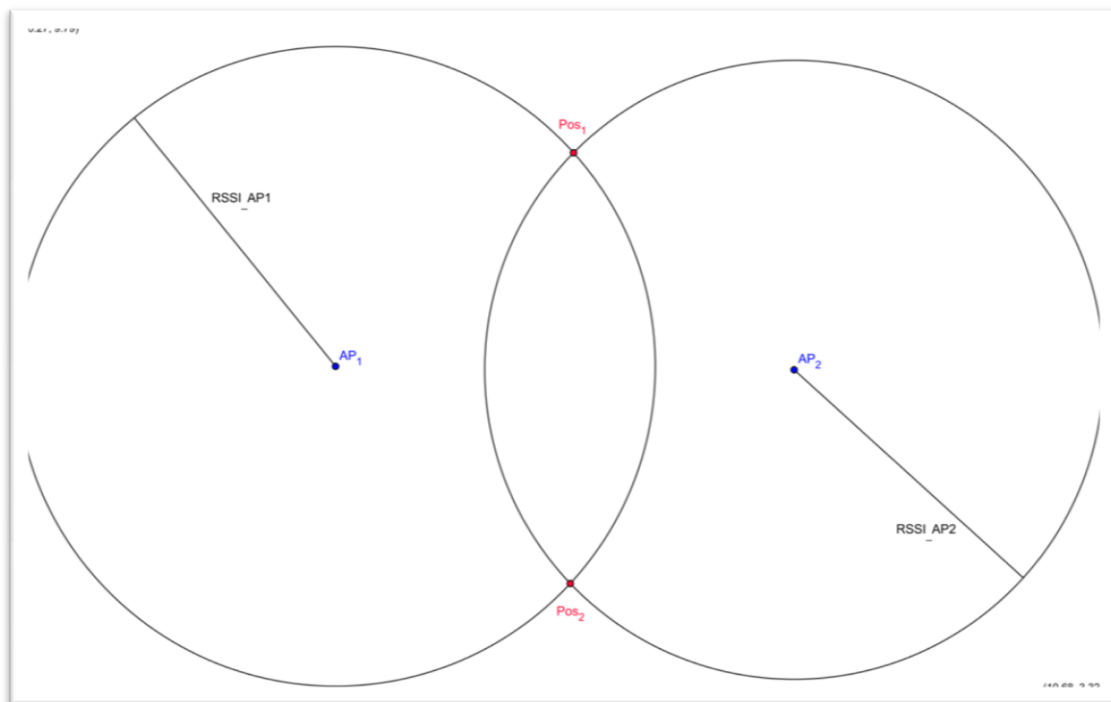


IMAGEN 6: POSIONAMIENTO BIDIMENSIONAL CON DOS PUNTOS

Por tanto, y salvo que se tenga información adicional que nos permita discriminar entre las dos posibles soluciones, debemos disponer de un receptor adicional al número de coordenadas a calcular.

Es importante también comentar, que el número de coordenadas en el espacio puede llegar a ser mayor de tres, como ocurre, por ejemplo, en el caso de la localización vía satélite GPS. En este caso concreto, los dispositivos receptores son satélites que no se encuentran en un punto fijo del espacio (puesto que la órbita geoestacionaria dista mucho de la Tierra). De esta manera, el número de coordenadas a calcular en la localización asciende a cuatro, tres espaciales y una temporal, que indica el momento de la órbita en que se encuentra el satélite.

Para el caso estudiado con el sistema Aruba el número de coordenadas a calcular es tres, ya que suponemos que los dispositivos receptores se encontraran estáticos en puntos conocidos.

Si bien, no debemos olvidar que las medidas de las distancias obtenidas en los experimentos reales son valores aproximados (ya que el RSSI no nos proporciona la distancia exacta), por lo que aumentar el número de dispositivos puede proporcionarnos información adicional que mejore la precisión de la localización.

ESTANDARIZACIÓN

La familia de estándares IEEE 802 establece todo lo referente a redes de ordenadores, tanto de LAN, como MAN⁸ o WAN⁹.

⁸ *Metropolitan Area Network*: Red de tamaño intermedio entre las redes LAN y WAN.

⁹ *Wide Area Network*: Red de computadores de gran tamaño, a nivel de país o incluso internacional.

Dentro de los estándares establecidos en la familia 802, el 802.11 es el referido a las redes inalámbricas WLAN (*Wireless Local Area Network*, red inalámbrica de área local), definiendo todo lo necesario para establecer una red de área local que aproveche las virtudes de las conexiones inalámbricas.

Las redes de área local pueden poseer una amplitud de unos pocos kilómetros de distancia, y son las escogidas en empresas y hogares para la comunicación de los diferentes dispositivos informáticos.

Dentro del grupo de trabajo 802.11 existen diferentes protocolos obtenidos a lo largo del tiempo para satisfacer diferentes necesidades, las redes estudiadas en este trabajo se encuentra estandarizadas en las versiones 802.11a, 802.11b, 802.11g y 802.11n del protocolo.

IEEE 802.11A

Dentro de la familia de protocolos 802.11, los primeros en aparecer fueron las versiones 802.11a y 802.11b, ambos publicados en Septiembre de 1.999.

El estándar 802.11a trabaja a frecuencia de 5 GHz, y es de ahí de donde viene sus mayores virtudes y sus mayores inconvenientes.

Al trabajar en una frecuencia elevada, permite velocidades de transmisión mayores que otros estándares (como el 802.11b), llegando a velocidades máximas teóricas de hasta 54 Mbps.

Por el contrario, esta frecuencia es más proclive a ser absorbida por objetos sólidos, por lo que su transmisión a largas distancias, o cuando no hay visibilidad, es menor a la obtenida en otros estándares.

Además, otro de los inconvenientes reside en el hecho de que al trabajar en una frecuencia diferente a los estándares 802.11b y 802.11g, no es compatible con ellos.

El estándar cuenta con 12 canales no solapados entre sí, ocho de ellos para interior, y cuatro para enlaces punto a punto en exteriores. La siguiente tabla muestra cada uno de los canales con sus frecuencias asociadas:

Canal	Frecuencia (MHz)
34	5170
36	5180
38	5190
40	5200
42	5210
44	5220
46	5230
48	5240
52	5260
56	5280
60	5300
64	5320

149	5745
153	5765
157	5785
161	5805

TABLA 2: CANALES DEL ESTÁNDAR 802.11A

Además, el estándar provee a los dispositivos de autoajuste tanto de la potencia como del canal a utilizar. De tal manera, que si se detecta que un canal está siendo utilizado por otra conexión y existen interferencias, se procederá de manera automática al cambio de canal, lo cual solventará el problema ya que como se comentó anteriormente los canales no se solapan entre sí.

El método de codificación utilizado por el estándar es el *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, explicado anteriormente en el apartado Funcionamiento Lógico WI-FI IEEE 802.11.

Dentro del área de mayor influencia de este protocolo podemos encontrar países como EEUU y Japón, principalmente.

IEEE 802.11B

Nacido a la vez que el estándar anterior (802.11a), en Septiembre de 1.999, este estándar se desarrollo fundamentalmente en Europa.

Una de sus principales características consiste en su frecuencia de emisión, que a diferencia del estándar 802.11a se encuentra en 2'4 GHz

De esta manera, el estándar alcanza unas velocidades máximas muy inferiores al 802.11a, y no superiores a 11 Mbps.

Por el contrario, y dado que emite a una frecuencia mucho menor (y por lo tanto una longitud de onda mayor) es mucho más resistente a la absorción por parte de cuerpos sólidos, y puede transmitirse a mayores distancias sin necesidad de contacto visual entre el punto emisor y el receptor.

Sin embargo, otro de los inconvenientes de trabajar en este ancho de banda reside en la multitud de aparatos que lo utilizan, como por ejemplo los teléfonos móviles, los dispositivos bluetooth o los hornos microondas, por lo que es un ancho de banda con mayor número de posibles interferencias.

Respecto a los canales utilizados por el estándar, cabe destacar que define las mismas especificaciones que el estándar 802.11g explicado más adelante.

El método de codificación utilizado por el estándar es el *Complementary Code Keying*, explicado anteriormente en el apartado Funcionamiento Lógico WI-FI IEEE 802.11.

IEEE 802.11.G

El estándar 802.11g es la versión del estándar más extendida actualmente en las redes inalámbricas de Europa. En él se especifican las redes inalámbricas que operan en la frecuencia de los 2'4 GHz. Dicho estándar es una evolución de la versión 802.11b, en el que se establecían las redes en la misma frecuencia.

El estándar 802.11g data de Junio de 2003, y es uno de los predominantes actualmente en el mercado. Esto se debe a su retro-compatibilidad con su predecesor (802.11b) y a que debido a trabajar en la misma frecuencia que este conserva una de sus virtudes, una menor atenuación de las ondas frente a los objetos sólidos que el estándar 802.11a (que trabaja a 5 GHz).

Cuenta con un total de catorce canales, separados por un ancho de banda de 5 MHz cada uno. Teniendo en cuenta que cada canal necesita un ancho de banda de aproximadamente 22 MHz, para conseguir velocidades de 54 Mbps, se observa que los canales se solapan unos con otros. Por tanto puede ser muy interesante no utilizar canales consecutivos en puntos de acceso muy cercanos que pueden interferirse entre sí.

La siguiente tabla muestra los diferentes canales existente, indicando su frecuencia y la posibilidad, o no, de utilizarlos en las diferentes zonas geográficas:

Canal	Frecuencia (MHz)	Uso en Europa	Uso en EEUU y Canadá	Uso en Japón
1	2412	Permitido	Permitido	Permitido
2	2417	Permitido	Permitido	Permitido
3	2422	Permitido	Permitido	Permitido
4	2427	Permitido	Permitido	Permitido
5	2432	Permitido	Permitido	Permitido
6	2437	Permitido	Permitido	Permitido
7	2442	Permitido	Permitido	Permitido
8	2447	Permitido	Permitido	Permitido
9	2452	Permitido	Permitido	Permitido
10	2457	Permitido	Permitido	Permitido
11	2462	Permitido	Permitido	Permitido
12	2467	Permitido	No Permitido	Permitido
13	2472	Permitido	No Permitido	Permitido
14	2484	No Permitido	No Permitido	Permitido

TABLA 3: CANALES DEL ESTÁNDAR 802.11G

Cabe destacar que al comienzo de publicarse el estándar en 1.999 en España se consideraron válidos únicamente los canales 10 y 11. Posteriormente, en 2.000, el COIT¹⁰ publicó el documento “WI-FI: El diferente uso del espectro en EEUU y Europa¹¹”, en el que se equiparó la disponibilidad de los canales en España con el resto de Europa.

Por tanto, el uso en espacios compartidos de canales solapados puede producir interferencias, reducción de la velocidad e incluso pérdidas de conexión. La siguiente tabla ilustra las posibles combinaciones de canales no solapados, pudiéndose encontrar hasta cuatro combinaciones de tres canales cada una:

Opción	Canales		
A	2	7	12
B	3	8	13

¹⁰ Colegio Oficial de Ingenieros y Telecomunicaciones

¹¹ <http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit149/59-63.pdf>

C	4	9	14
D	1	8	14

TABLA 4: CANALES NO SOLAPADOS 802.11G

Por otro lado, uno de los mayores inconvenientes del estándar 802.11g reside en el mayor tráfico que sufre este ancho de banda de frecuencia, utilizada también por teléfonos móviles, dispositivos bluetooth y hornos microondas, lo que puede traducirse en mayores interferencias.

La distancia máxima permitida entre dos puntos es de aproximadamente 400 metros. Si bien esta distancia depende en gran medida de la velocidad máxima utilizada y de las condiciones del terreno. La siguiente tabla muestra la evolución de la distancia máxima en función de estos dos parámetros:

Velocidad Máxima	Distancia Máxima (en ambientes cerrados)	Distancia Máxima (en ambientes abiertos)
54 Mbit/s	27 m	75 m
48 Mbit/s	29 m	100 m
36 Mbit/s	30 m	120 m
24 Mbit/s	42 m	140 m
18 Mbit/s	55 m	180 m
12 Mbit/s	64 m	250 m
9 Mbit/s	75 m	350 m
6 Mbit/s	90 m	400 m

TABLA 5: DISTANCIA MÁXIMA DE CONEXIÓN

Como ya se explicó y dado que el protocolo 802.11g trabaja en la misma banda que la tecnología inalámbrica Bluetooth pueden producirse interferencias entre dispositivos de ambas tecnologías. Si bien estas interferencias son poco o muy poco probables debido a la dificultad de coincidir en tiempo y frecuencia, y a la diferencia entre las potencias utilizadas¹².

El método de codificación utilizado por el estándar es el *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, explicado anteriormente en el apartado Funcionamiento Lógico WI-FI IEEE 802.11, aunque debido a su retro-compatibilidad con el estándar 802.11b, también puede trabajar con *Complementary Code Keying*.

Dentro del área de mayor influencia de este protocolo podemos encontrar la mayor parte de los países europeos.

IEEE 802.11N

Por último estudiaremos el estándar 802.11n, el cual se presume como el futuro de las redes inalámbricas en todo el mundo.

¹² http://dspace.icesi.edu.co/dspace/bitstream/item/1170/1/Analisis_interferencia_tecnologias_inalambricas_bluetooth_IEEE.pdf

En el momento de redactar este documento, el estándar no se encuentra aprobado todavía¹³, pese a llevar en construcción desde el año 2.004.

Por tanto, los datos aquí aportados se obtendrán del segundo borrador publicado por el grupo de trabajo encargado del estándar: *TGn Draft 2.0*, aprobado con un 80'1% de los votos. Nótese que para que un *draft*¹⁴ sea aprobado debe contar al menos con el 75% de los votos.

En los próximos meses se espera que el estándar definitivo sea publicado, si bien no se esperan grandes modificaciones sobre el *draft* estudiado en este documento.

Uno de los motivos por los que se ha retrasado tanto la publicación definitiva del estándar, aproximadamente seis años, es la gran polémica que ha suscitado su elaboración.

Desde el principio de su creación, el equipo de trabajo encargado del estándar se componía de dos grandes grupos: WWiSE¹⁵ y TGn Sync¹⁶. Ambos incapaces de llegar a un acuerdo definitivo. Cada uno de los grupos presentaba un estándar diferente, obteniendo el 45% y el 55% de los votos respectivamente. De esta manera ninguna de las dos propuestas obtenía el 75% necesario para ser aprobada.

Existían varias diferencias fundamentales en los intereses de las empresas que componían cada uno de los grupos, lo que propiciaba que los estándares no se pudieran conjuntar y llegar a un acuerdo.

Una de las diferencias fundamentales consistía en la atención prestada al consumo de los chips necesarios para implementar el estándar, el WWiSE (formado por, entre otras, grandes compañías de móviles) advertían de la gran importancia del bajo consumo de los chips, sacrificando así funcionalidad. Por su parte, el TGn Sync (formado por, entre otras, grandes compañías interesadas en la emisión de HDTV por red inalámbrica) desestimaba la importancia del consumo de energía, priorizando la velocidad de transferencia y las prestaciones.

Tras muchas negociaciones ambos grupos decidieron fusionarse en EWC¹⁷. De esta unión llegó el avance de las negociaciones y del desarrollo del estándar, obteniendo hasta la fecha actual la publicación del segundo *draft*, previsiblemente muy similar a la versión final que llegue a ser aprobada, en principio, durante el próximo año.

Una de las características fundamentales incorporadas al nuevo estándar es MIMO¹⁸, la cual permitirá el uso de múltiples antenas, tanto en el emisor como en el receptor, para incrementar la velocidad de transmisión hasta el límite, teórico, de 600 Mbps.

¹³ http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgn_update.htm

¹⁴ Borrador previo a la publicación final del estándar

¹⁵ *World Wide Spectrum Efficiency*

¹⁶ *Task Group N*

¹⁷ *Enhanced Wireless Consortium*

¹⁸ *Multiple-input Multiple-output*

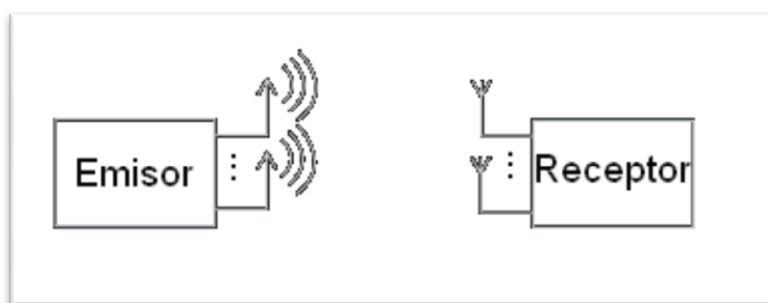


IMAGEN 7: MULTIPLE-INPUT MULTIPLE-OUTPUT

Otra de las características importantes del nuevo estándar consistirá en la retro-compatibilidad tanto con el estándar 802.11a como con los estándares 802.11b/g. Esta retro-compatibilidad es posible gracias a que el estándar 802.11n trabajará tanto en la frecuencia 2'4 GHz como en la de 5 GHz. Si bien cuando en la misma red existan equipos de algunos de los estándares anteriores (802.11a/b/g) la velocidad de transmisión se verá reducida considerablemente.

RESUMEN Y COMPARACIÓN

A continuación se resumen y comparan cada una de las características principales de las diferentes versiones del estándar expuestas anteriormente:

Protocolo	Frecuencia	Velocidad Máxima de Transmisión	Fecha de Publicación	Modulación	Compatibili- dad hacia atrás	Alcance Int. / Ext.
802.11a	5 GHz	54 Mbps	1.999	OFDM	-	20 m / 100 m
802.11b	2'4 GHz	11 Mbps	1.999	QPSK	-	30 m / 150 m
802.11g	2'4 GHz	54 Mbps	2.003	OFDM/CCK	802.11b	30 m / 150 m
802.11n	2'4 GHz y 5 GHz	600 Mbps	Prevista para 2010	BPSK, QPSK y QAM	802.11a/b/g	70 m / 250 m

TABLA 6: RESUMEN Y COMPARACIÓN PROTOCOLO 802.11X

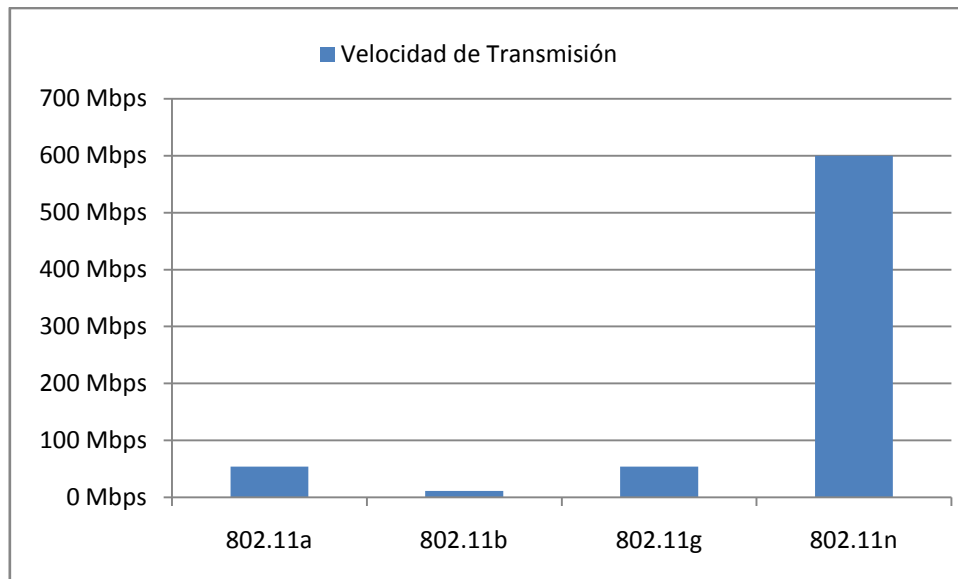


GRÁFICO 1: VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN

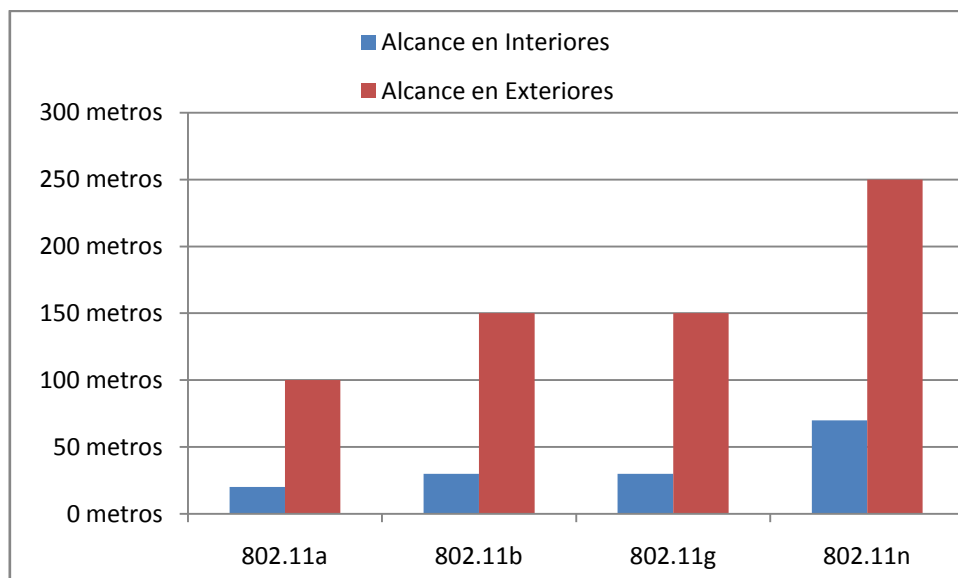


GRÁFICO 2: ALCANCE DE EMISIÓN

DISPOSITIVOS

Para que un dispositivo informático pueda hacer uso de una red inalámbrica necesita una tarjeta de red que le permita conectarse a dicha red.

A continuación se presenta un pequeño estudio sobre los diferentes tipos de tarjetas de red existentes en el mercado:

Dentro de las tarjetas de red inalámbricas existen varios estándares de conexión. En ellos varía el tamaño del dispositivo y el tipo de conexión, encontrando por ejemplo tarjetas de red de tipo PCI, Mini-PCI Express, USB, ExpressCard, etc...

Las tarjetas de red inalámbricas de tipo PCI son las más utilizadas en dispositivos de sobremesa, ya que son internas y las de mayor tamaño. Esto permite que los dispositivos

sean más baratos en condiciones en las que el espacio utilizado no es un recurso especialmente valioso.

A continuación se muestra una imagen de varias ranuras (o *slots*) para dispositivos PCI:

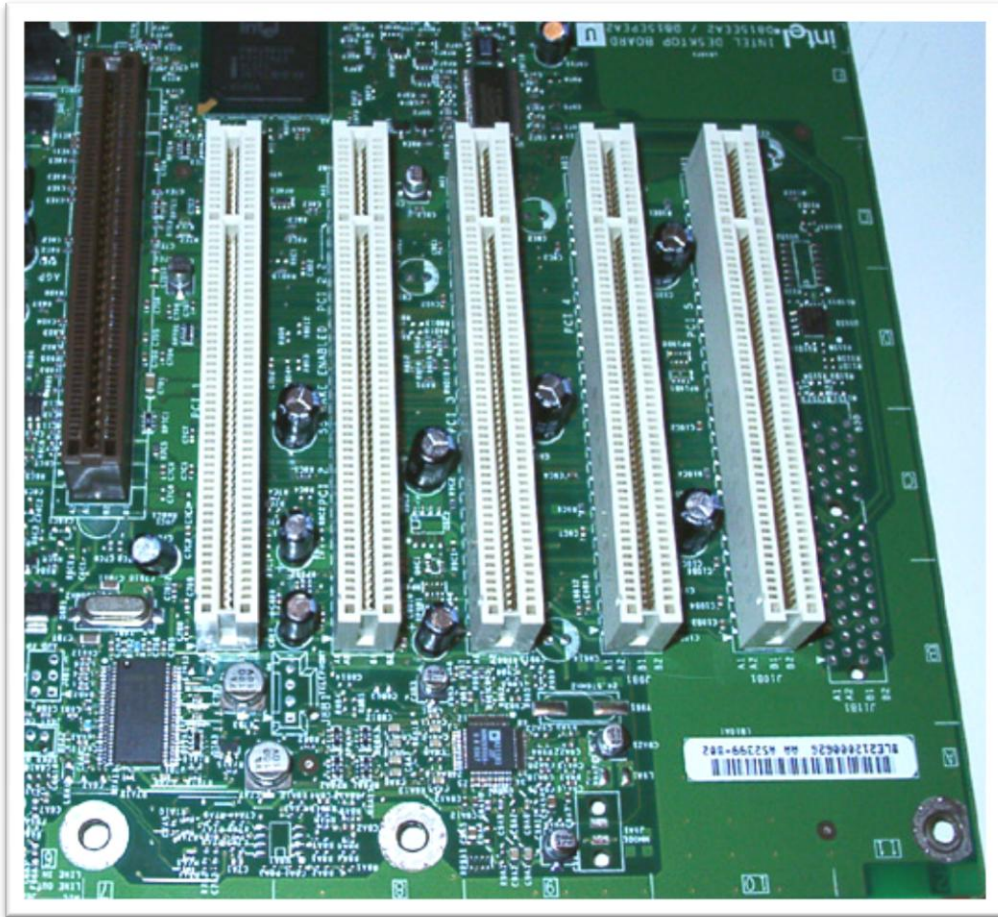


IMAGEN 8: RANURAS PCI

Dentro de la gama de dispositivos de red inalámbricos con conexión PCI existe una inmensa variedad de productos. Empresas como *Asus*, *Cisco*, *D-Link*, *Edimax*, *Intel*, *NetGear*, *SiteCom*, etc. inundan el mercado con docenas de dispositivos cuyos precios varían desde los 10 € a los 100 €.

La siguiente imagen muestra un dispositivo de red inalámbrico con conexión PCI:



IMAGEN 9: TARJETA DE RED INALÁMBRICA PCI

Los dispositivos PCI cuentan con un gran número de productos en el mercado, pero presentan una dificultad, ocupan un gran tamaño. Por ello, nació la conexión Mini-PCI Express, pensada para reducir el tamaño del dispositivo y así ser utilizado en ordenadores portátiles.

La siguiente imagen muestra una ranura (o *slot*) para un dispositivo Mini-PCI Express:



IMAGEN 10: RANURA MINI-PCI EXPRESS

Debido a la idoneidad de las redes inalámbricas WI-FI para los ordenadores portátiles, y el uso que éstos hacen de la conexión Mini-PCI Express, existen gran cantidad de tarjetas inalámbricas que cumplen con este formato. Una de las más implantadas en el mercado es la tarjeta *Intel® PRO/Wireless 3945ABG Network Connection*, mostrada en la siguiente imagen:

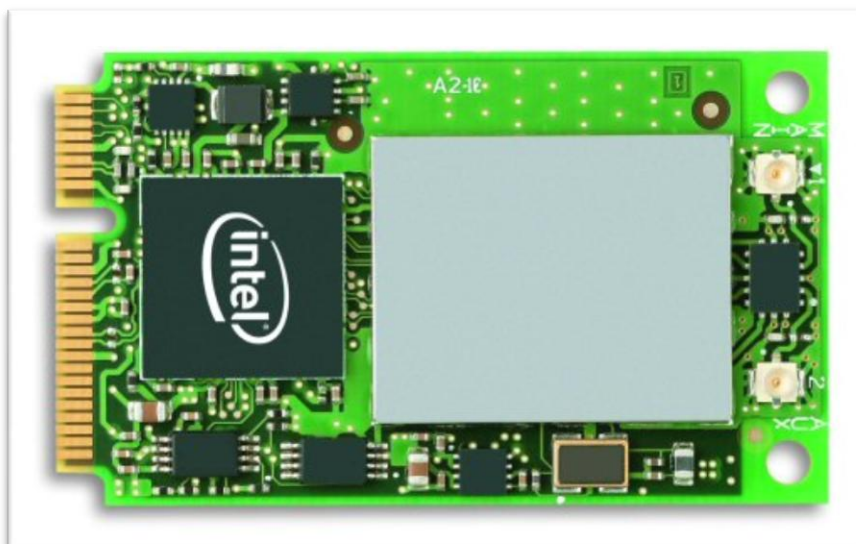


IMAGEN 11: INTEL® PRO/WIRELESS 3945ABG NETWORK CONNECTION

Hasta ahora, todos los dispositivos descritos en este apartado se refieren a tarjetas de red internas, es decir, tarjetas de red que quedan instaladas en el interior de los dispositivos.

Una alternativa existente a las tarjetas de red inalámbricas internas consiste en las que utilizan conexión USB.

De esta manera nos encontramos con dispositivos externos de fácil instalación/desinstalación.

Existe también una gran variedad de productos en este apartado, encontrando precios desde los 10 € a los 60 €.

La siguiente imagen ilustra una tarjeta de red inalámbrica mediante conexión USB:



IMAGEN 12: TARJETA DE RED INALÁMBRICA USB

Gracias a las tarjetas de red inalámbricas podemos transmitir y recibir datos desde cualquier aparato informático adaptado para disponer de una. De esta manera, cualquier sensor que contenga el dispositivo podrá enviar la información obtenida a través de la red inalámbrica.

OTRAS TECNOLOGÍAS

A continuación se presentarán más brevemente otras dos tecnologías alternativas a la explicada anteriormente, mediante las cuales se puede conseguir sistemas de localización.

Las tecnologías escogidas para este punto son: UltraWideBand y Zigbee.

ULTRAWIDEBAND

UltraWideBand es un sistema de telecomunicación inalámbrico a través de ondas de radio. Permite velocidades muy elevadas en comparación con otras tecnologías (de hasta 1 Gbps) y se encuentra definido en el estándar IEEE 802.15.4, donde se describe su arquitectura y funcionamiento, así como se estudian posibles mejoras del sistema.

Dentro de la tecnología UltraWideBand se ha definido el estándar 802.15.4a pensado especialmente para la localización de alta precisión. Su coste energético es menor, debido a su menor volumen de transmisión de datos, y proporciona localización con un margen de error de un metro o menor.

HISTORIA

UltraWideBand es una tecnología muy joven, el primer dispositivo desarrollado con este método data de 1.965, y fue creado por el centro de investigación *Sperry Research Center*, basándose en las investigaciones realizadas por los laboratorios *Lincol* cinco años antes.

Pero fue en 1.980 cuando Gerald F. Ross¹⁹ realizó la primera patente de un sistema UWB, realizando unos años después la primera demostración de comunicaciones con uno de los sistemas.

Más tarde, en el año 2.002, la FCC²⁰ aprobó por fin el uso civil de la tecnología UWB. A raíz de este hecho, en el año 2.003 el IEEE lanzó el estándar 802.15.4 para el desarrollo e implementación de la tecnología.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Tal y como su nombre indica, la primera característica fundamental de la tecnología UWB reside en el ancho de banda que utiliza, este va desde los 3'1 GHz hasta los 10'6 GHz. Este ancho de banda de más de siete gigahercios permite disponer a UWB de 13 canales diferentes, con un ancho cada uno de más de 500 MHz, mediante los cuales se pueden realizar transmisiones a gran velocidad, con paquetes de información de gran tamaño (480 Mbits/s).

Otra de las características fundamentales consiste en los impulsos emitidos para transportar la información. Estos impulsos se emiten a muy baja potencia, de manera dis-

¹⁹ Director del *Sperry Rand Corporation*, equipo al que pasó a formar parte el *Sperry Research Center*.

²⁰ *Federal Communications Commission*, Agencia estatal estadounidense encargada de la regulación de telecomunicaciones interestatales e internacionales por radio, televisión, redes inalámbricas, satélite y cable.

creta en intervalos de tiempo muy cortos. Esta característica provee a la tecnología de gran robustez frente a problemas de interferencias y de multitrayecto.

Además, es importante destacar que el hecho de no emitir de manera continua, tal y como se comentó anteriormente, propicia que sea una tecnología con un consumo energético muy reducido, obteniendo así otra de sus mayores virtudes.

FUNCIONAMIENTO

Los sistemas de UWB pueden tener dos funcionamientos diferentes, los denominados *Carrier-basedUWB* y los nombrados *PulsedUWB*.

Se categorización se realiza en función de que el sistema utilice portadoras para transmitir la información de que no lo haga.

Los sistemas *Carrier-basesUWB* se basan en señales en banda base que se convierte a paso banda para su transmisión mediante una modulación de canal, al igual que se realiza en otros sistemas de transmisión inalámbrica.

Por el contrario, los sistemas *PulsedUWB* carecen de portadoras que transmitan la señal, y funcionan mediante pulsos de muy corta duración enviados en intervalos de tiempo muy reducidos. Será sobre estos últimos sobre los que se base el estudio de este apartado, ya que presentan mayor novedad y singularidad en relación al resto de tecnologías.

Como ya se ha comentado los sistemas PulsedUWB utilizan pulsos de corta duración y baja potencia, estos pulsos suelen ser de tipo gaussiano, definido según la siguiente ecuación:

$$p_{(t)} = -\frac{At}{\sigma^2} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$$

Donde:

- A , amplitud del pulso.
- σ , constante temporal definida por la mitad de la duración del pulso en el punto $1/e$.

Es importante destacar que la coordinación entre el emisor y el receptor de los pulsos deben muy elevada, ya que pueden llegar a enviarse varios millones de pulsos por segundo.

En principio, las limitaciones que ofrece la tecnología UWB para el rango de cobertura no difieren especialmente con el resto de tecnologías inalámbricas, si bien, en el estándar 802.15.4 se limita la cobertura a unas pocas decenas de metros para evitar posibles interferencias con otros sistemas UWB. Respecto a interferencias con otros sistemas inalámbricos no existe problema, ya que debido a que UWB emite con potencias muy reducidas, las posibles interferencias ocasionadas en otros sistemas son casi inapreciables.

ESTANDARIZACIÓN

Existen dos grupos de trabajo diferentes encargados de la estandarización de tecnología UWB, el 802.15.3 y el 802.15.4, ambos pertenecientes al grupo 802.15, encargado de las redes WPAN²¹.

Antes de empezar a describir ambos estándares, es importante destacar que el grupo de trabajo 802.15 divide la segunda de las capas de la arquitectura OSI²² en dos subcapas, la capa de control de acceso al medio (MAC) y la capa de control de enlaces lógicos (LLC), tal y como se muestra en la siguiente figura:

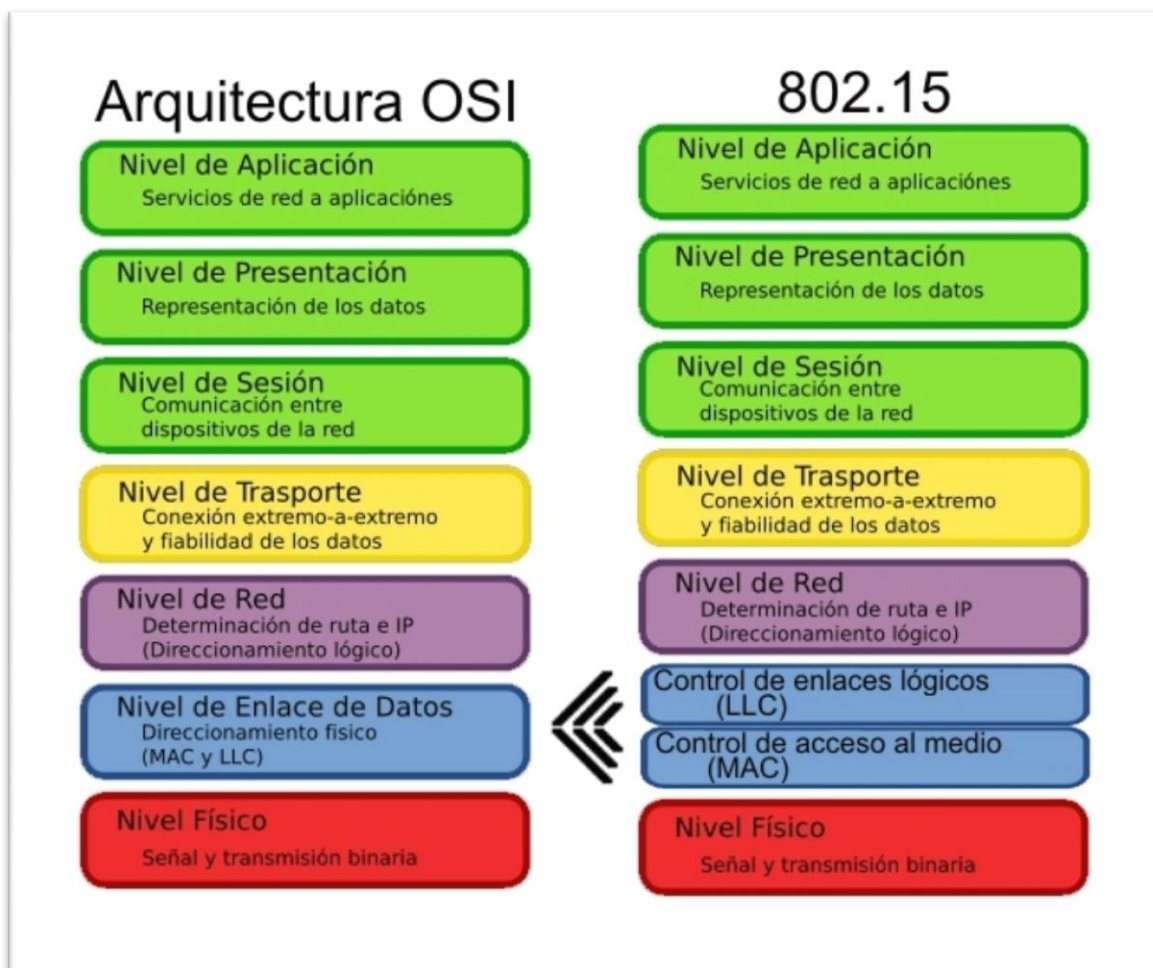


IMAGEN 13: COMPARACIÓN OSI Y 802.15

De esta manera, todas las tecnologías definidas por el grupo de trabajo 802 tienen en común la capa de control de enlaces lógicos (LLC), mejorando la interoperabilidad entre tipos diferentes de sistemas.

En el presente documento haremos referencia a ambos estándares (802.15.3 y 802.15.4), si bien prestaremos mayor atención al 802.15.4, por ser el más indicado para los sistemas de localización.

El 802.15.3 es el grupo de trabajo encargado de la UWB pensada para tasas de transmisión muy elevadas.

²¹ Red inalámbrica de área personal (*Wireless Personal Area Networks*)

²² Sistema de interconexión abierto (*Open System Interconnection*)

En el estándar, publicado por primera vez en 2.003, se especifican las capas física (PHY) y de acceso al medio (MAC).

Los objetivos fundamentales perseguidos en el estándar son dos: una alta capacidad de transmisión, y un eficiente uso de la energía.

Además, se trató de conseguir un estándar cuya implementación y costes operacionales fueran baratos.

Más tarde, se publicaron tres nuevas variaciones del estándar, la 802.15.3a, la 802.15.3b y la 802.15.3c.

En la primera de ellas, 802.15.3a, se describió una capa física (PHY) alternativa, mientras que en la segunda, 802.15.3b, se rediseñó la capa de acceso al medio (MAC) de manera más adecuada. Guardando ambas modificaciones del estándar compatibilidad entre ellas y con la anterior, y corrigiendo además algunos errores y algunas ambigüedades de la primera versión.

Por último, en 2.005 se publicó el 802.15.3c, especificando una capa física alternativa con ondas milimétricas, trabajando en el rango de frecuencia de 57 GHz – 64 GHz, y obteniendo velocidades superiores a 2 GBps.

Por su parte, el primer borrador del estándar 802.15.4 se publicó en 2.000 y trata sobre las redes inalámbricas personales con una baja tasa de transferencia (*Low rate-WPAN*). Más tarde, en 2.003 se publicó la versión definitiva del estándar, que no dista mucho del primer borrador publicado.

La transmisión de los datos se hace en tres rangos de frecuencias diferentes, con diferentes velocidades de transmisión, la siguiente tabla muestra dichos rangos:

Frecuencia	Velocidad de Transmisión	Posibles Canales
868 MHz	20 kb/s	11
915 MHz	40 kb/s	
2'4 GHz	250 kb/s	16

TABLA 7: RANGOS DE FRECUENCIA (802.15.4)

El alcance conseguido es de entre 10 y 70 metros de longitud, y la latencia sufrida por las transmisiones es menor de 15 milisegundos. Por último, el direccionamiento puede realizarse de entre ocho a 64 bits.

El estándar 802.15.4 soporta gran cantidad de topologías de red diferentes (estrella, p2p, etc.) siendo la topología escogida decisión del diseñador de cada red.

Respecto a la capa física (PHY) el estándar ofrece dos posibles alternativas, cada una de las cuales funciona con el método de modulación llamado secuencia directa de espectro ensanchado (DSSS, *Direct Sequence Spread Spectrum*).

DSSS utiliza un código de pseudo-ruido para modular directamente una portadora, aumentando el ancho de banda de la transmisión y reduciendo la densidad de potencia espectral. La señal resultante tiene un espectro muy similar al del ruido, de tal forma que el resto de radorreceptores pueden confundir con ruido la señal.

La diferencia fundamental entre las dos posibles capas físicas reside en la banda de frecuencia utilizada, por un lado existe la capa física que trabaja en la banda de 868 MHz/915 MHz, y por otro la que trabaja en la frecuencia de 2'4 GHz. Ambas frecuencias se diferencian, además de en las velocidades de transmisión tal y como se vio en la tabla Tabla 7: Rangos de frecuencia (802.15.4), en la posibilidad de ser utilizadas en los diferentes países tal y como estipula la ley en cada uno de ellos.

En el año 2.005 se desarrollo una nueva versión del estándar denominada 802.15.4a, en ella se describe una capa física (PHY) alternativa, utilizando la tecnología de pulso continuo. Pensado para construir sistemas de localización de gran precisión, con errores por debajo de un metro, trata de conseguir un uso muy eficiente de la energía, aumentar la escalabilidad de la tasa de datos y mejorar la distancia de transmisión.

Por último, también en el año 2.005 se publicó la versión 802.15.4b del estándar, cuyo objetivo era mejorar la primera versión publicada en 2.000, corrigiendo errores, solventando ambigüedades y reduciendo complejidades innecesarias.

ZIGBEE

ZigBee es un sistema de telecomunicaciones inalámbrico desarrollado por la *ZigBee Alliance* a partir de estándar 802.15.4 comentado en el apartado anterior.

Pensado para redes con una tasa de transmisión moderada, y concebido como un sistema cuya duración sea mayor, con un coste de implantación bajo.

Se trata de una tecnología joven cuyo ámbito de aplicación puede variar desde la domótica a la automatización industrial, pasando por juguetes interactivos, telemetría, etc.

HISTORIA

Tras la creación en 2.000 del primer borrador del estándar 802.15.4 sobre redes inalámbricas de ámbito personal y baja tasa de transferencia (LR-WPAN), se observó la necesidad de crear un sistema cuyas características cumplieran:

- Bajo consumo
- Topología de red en malla
- Bajo coste

Por ello, en 2.002 un grupo de compañías entre las que destaca *Philips* crearon la *Zigbee Alliance*, una asociación que actualmente cuenta con más de 300 empresas miembros.

El propósito de dicha asociación consiste en instaurar la tecnología *Zigbee* en los diferentes ámbitos en los que puede ser provechosa, creando protocolos de alto nivel de comunicación con muy bajo consumo.

El 14 de Diciembre de 2.004 la *ZigBee Alliance* aprobó la primera especificación de la tecnología, tomando para ello la referencia del estándar 802.15.4.

Actualmente se sigue desarrollando la tecnología, y se espera conseguir sensores con tiempos de vida entorno a los cinco años de duración con tan sólo una pila de tipo AA.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

En la especificación aprobada por la *ZigBee Alliance* en 2.004 basada en el estándar 802.15.4 de las capas física (*PHY*) y de acceso al medio (*MAC*), se desarrollan las capas de red, seguridad y aplicación. Tal y como se muestra en la siguiente imagen:

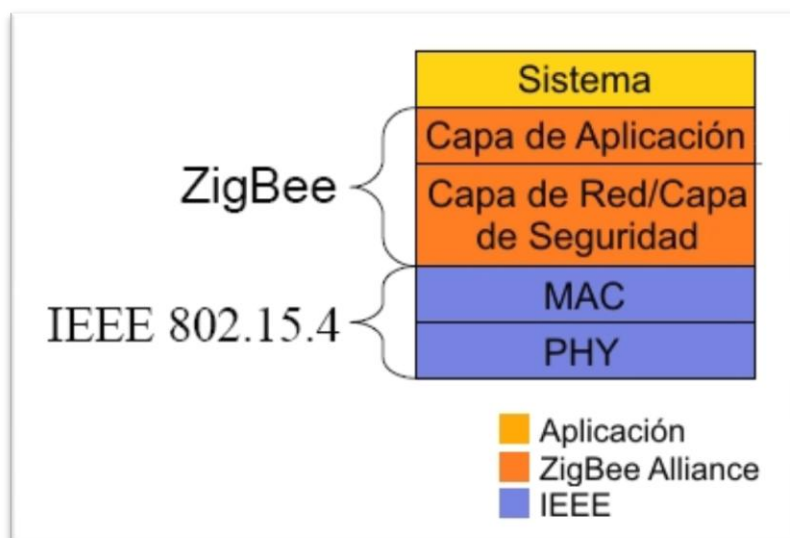


IMAGEN 14: CAPAS ZIGBEE

Las redes creadas con la tecnología *ZigBee* pueden poseer hasta un total de 65.536 nodos, distribuidos en forma de malla, con unos tiempos de adhesión a la red, activación y acceso al canal menores a 30 ms, 15 ms, y 15 ms respectivamente.

Tal y como se expuso en la Tabla 7: Rangos de frecuencia (802.15.4) el sistema *ZigBee* (que como ya se ha comentado se basa en este mismo estándar para sus capas PHY y MAC) puede operar en dos bandas de frecuencias diferentes, en la de 2'4 GHz y en la de 868 MHz / 915 MHz.

La diferencia fundamental entre ambas bandas reside en la tasa de transferencia y en la posibilidad de utilizarse en uno u otro sitio. De esta manera, en la segunda de las alternativas debe diferenciarse el uso dentro de la UE y el uso dentro de los EEUU. Ya que en EEUU se deberá usar la frecuencia de 915 MHz mientras que en la UE la de 868 MHz. Por el contrario, la primera opción (2'4 GHz) puede utilizarse indistintamente en todo el mundo.

Una de las ventajas fundamentales que presenta la tecnología *ZigBee* frente a otras competidoras radica en el bajo consumo y la sencillez electrónica que presentan sus sensores. De esta manera, una instalación *ZigBee* puede llegar a durar años sin la necesidad siquiera de cambiar las baterías de los mismos.

Además, los tiempos de latencia del sistema son muy reducidos, llegando una red a enumerar cada uno de los dispositivos en apenas 30 milisegundos.

Además, la tecnología presenta un sistema de seguridad AES²³ de 128 bits, en su capa de seguridad.

FUNCIONAMIENTO

²³ Estándar de encriptación avanzado (*Advanced Encryption Standard*)

En un sistema *ZigBee* pueden existir tres tipos de dispositivos que pasamos a describir a continuación:

1. *Coordinador ZigBee*: Consiste en el dispositivo que inicia la red, sólo puede existir uno por red y puede llegar a actuar como *router* una vez iniciada la red.
2. *Router ZigBee*: Componente opcional de la red que puede asociarse a un coordinador *ZigBee* o a otro *router* que forme parte de la red y participar en el encaminamiento de la información.
3. *Dispositivo final ZigBee*: Componente opcional de la red sin la capacidad de encaminar la información ni asociar nuevos dispositivos.

Con estos dispositivos, se puede disponer una red en malla tal y como se muestra en la siguiente imagen:

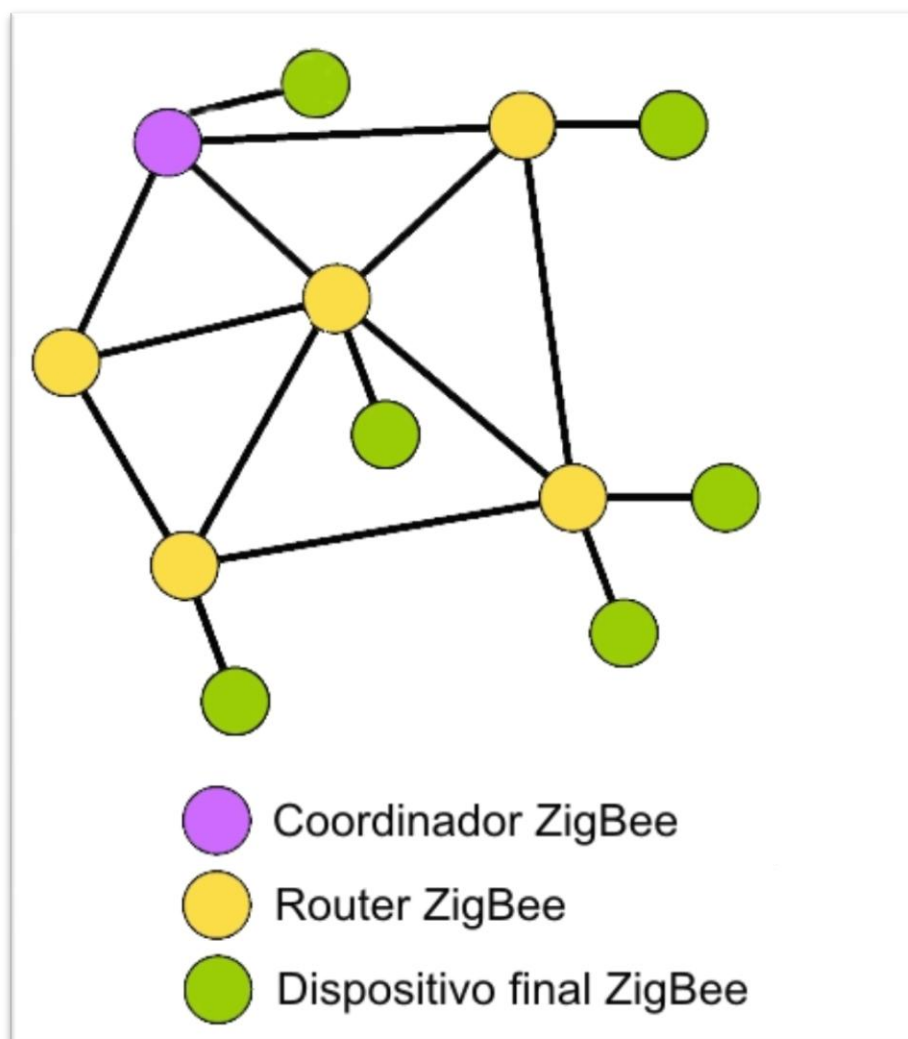


IMAGEN 15: RED EN MALLA ZIGBEE

Respecto a la forma en que cada dispositivo accede al canal la tecnología *ZigBee* presenta dos alternativas diferentes: Redes con canal piloto y redes sin canal piloto.

En la primera opción (redes con canal piloto) el coordinador *ZigBee* realiza el envío de tramas piloto a intervalos regulares para sincronizar cada uno de los dispositivos de la

red. Además pueden existir canales especialmente dedicados a esta tarea con muy baja latencia. El mecanismo de acceso al medio es *CSMA-CA*²⁴ ranurado.

La segunda opción que propone la tecnología se encuentra orientada a redes cuya topología es p2p²⁵, en ella el sistema se basa en el algoritmo *Aloha* y el mecanismo de acceso al medio es *CSMA-CA* no ranurado.

ESTANDARIZACIÓN

Como ya se ha comentado anteriormente, el primer estándar relacionado con la tecnología *ZigBee* es el comentado en el capítulo anterior (Estandarización) 802.15.4.

En él se definen las capas física (*PHY*) y de acceso al medio (*MAC*). Además, la *ZigBee Alliance* creó en 2.004 la especificación en la que se basan las capas de red, aplicación y seguridad.

Esta especificación se aprobó el 14 de Diciembre de 2.004, pero no fue puesta a disposición del público hasta el 13 de Junio de 2.005.

Más tarde en 2.006 se publico una nueva revisión del estándar, corrigiendo algunos errores y solucionando ciertas ambigüedades.

²⁴ Acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones (*Carrier Sense, Multiple Access, Collision Avoidance*)

²⁵ Redes de pares (*peer-to-peer*)

DICCIONARIO DE TÉRMINOS

- IEEE: Acrónimo en inglés de *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, Asociación de profesionales norteamericanos que aporta criterios de estandarización de dispositivos eléctricos y electrónicos.
- WI-FI Alliance: Organización creada por líderes proveedores de software y equipos inalámbricos con la misión de certificar los productos basados en el estándar 802.11 para lograr interoperabilidad y promover el término WI-FI como una marca global para cualquier producto basado en el estándar.
- GPS: Acrónimo en inglés de *Global Positioning System*, o sistema de posicionamiento global. Se trata de un sistema global de navegación por satélite que permite localizar con precisión un dispositivo GPS en cualquier lugar del mundo.
- LAN: Siglas de *Local Area Network*, o red de área local. Consiste en una red de comunicaciones entre ordenadores y dispositivos, en un área relativamente pequeña.
- AP: Siglas de *Access Point*, o punto de acceso. Dispositivo que proporciona cobertura para la conexión inalámbrica, soporta la conexión de varios ordenadores simultáneamente y a menudo puede, además, conectarse a una red cableada, sirviendo de unión para ambas redes.
- MAN: Siglas de *Metropolitan Area Network*, o red de área metropolitana. Consiste en una red de ordenadores con un tamaño intermedio entre las LAN y las WAN.
- WAN: Siglas de *Wide Area Network*, o red de área ancha (grande). Red de comunicaciones entre ordenadores de tamaño grande, mayor que las redes de área local o las redes de área metropolitana. Un ejemplo de WAN es, por ejemplo, Internet.
- WPAN: Siglas de *Wireless Personal Area Networks*, o red inalámbrica de área personal. Consiste en una red de telecomunicaciones de pocos metros de amplitud, pensada para conectar diversos dispositivos informáticos en ella.
- HDTV: Acrónimo en inglés de *High Definition Television* o Televisión de alta definición. Formato caracterizado por emitir señales de televisión en más alta calidad de los existentes (PAL, NTSC, y SECAM). El formato más utilizado actualmente por la HDTV es la resolución 1280x720, con una proporción de 16:9.
- OSI: *Open System Interconnection*, o sistema de interconexión abierto. Modelo arquitectónico descriptivo para la interconexión de sistemas de comunicación.



IMAGEN 16: ARQUITECTURA OSI

- AES: Acrónimo en inglés de *Advanced Encryption Standard*, esquema de cifrado por bloques, creado el 26 de noviembre de 2001 y también conocido como *Rijndael*, adoptado como estándar de cifrado por el gobierno estadounidense.
- Aloha: Primer protocolo de acceso al medio aleatorio creado en el 70 por Norman Abramson en la Universidad de Hawaii.

III. MANUAL DE INSTALACIÓN

INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LA RED INALÁMBRICA ARUBA

El sistema Aruba 2400 está compuesto por un switch y quince puntos de acceso capaces de crear hasta un máximo de 128 redes inalámbricas.

En el siguiente documento estudiaremos su instalación y configuración, tanto para crear redes inalámbricas como para realizar la localización de los elementos conectados a ellas.

INSTALACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA

En este apartado estudiaremos cada uno de los componentes que conforman la red inalámbrica Aruba: Switch, Puntos de Acceso (Access points) y Clientes (Enterprise Clients) y su instalación en el medio físico.

INSTALACIÓN DEL SWITCH

El switch es el componente principal de la red inalámbrica Aruba, se encarga de gestionar la conexión de todos los puntos de acceso y de toda la lógica de localización.

Para la instalación del switch tan sólo es necesario conectarlo a la red eléctrica (mediante un enchufe con toma de tierra). Es importante destacar que el switch carece de interruptor, por lo que se encontrará encendido o apagado dependiendo únicamente de si está enchufado o no.

Opcionalmente, puede conectarse a una red de área local Ethernet mediante un cable de red estándar (UTP). De esta manera más adelante podrán instalarse puntos de acceso conectándolos a la red en vez de al switch. Para la conexión red utilizaremos el puerto 0 del frontal del switch.



IMAGEN 17: SWITCH ARUBA

INSTALACIÓN DE LOS PUNTOS DE ACCESO

Un punto de acceso consiste en un aparato receptor de señal wifi que lo retransmite al switch. No realiza ninguna operación de des-criptado o localización, solo retransmite al switch y delega en el toda la lógica del sistema.

Para la instalación de los puntos de acceso se debe tener en cuenta la alimentación eléctrica y la conexión de datos.

Para la conexión de datos disponemos de dos opciones: en primer lugar podemos conectar directamente el punto de acceso a uno de los puertos de entrada del switch. La segunda opción consiste en conectar el punto de acceso a la misma red local a la que está conectado el switch (véase "[instalación del switch](#)"). En ambos casos necesitaremos un cable de red estándar (UTP).

Para la alimentación eléctrica se encuentran disponibles también dos opciones: utilizar el transformador suministrado con los puntos de acceso u obtenerla mediante la conexión de datos. Para la segunda opción es necesario que el punto de acceso se encuentre conectado directamente al switch, y no mediante una red de área local. Además, necesitaremos habilitar la opción de "Enable 802.3af Power Over Ethernet" en la página "port" de la configuración del switch (véase [configuración del switch](#)).



IMAGEN 18: PUNTO DE ACCESO ARUBA

INSTALACIÓN DE LOS CLIENTES

Un cliente de la red es un sistema informático conectado a la red inalámbrica suministrada por el sistema Aruba.

Para ello necesita una tarjeta de red inalámbrica y encontrarse dentro del alcance de alguno de los puntos de acceso conectados a la red.

Los parámetros de configuración necesarios variarán en función de la configuración que se establezca en el switch, pero se aconseja habilitar el servidor DHCP para proporcionar direcciones IP de manera automática.

El sistema Aruba cuenta con una función de localización (de la que hablaremos más en profundidad más adelante) mediante el protocolo http. Por tanto cualquier cliente de la red puede ser localizado dentro del plan establecido (véase "[gestión del plan físico](#)") con sus coordenadas en las tres dimensiones del espacio.

CONFIGURACIÓN DEL SWITCH

Toda la configuración de la red inalámbrica (así como la de la localización de clientes) se encuentra centralizada en el switch.

Para el acceso a la lógica del switch y su configuración podemos optar por dos opciones básicas: Vía http y vía telnet. A continuación pasamos a explicar cada una de ellas.

VÍA TELNET

Consiste en la manera más inmediata y básica de conexión al switch, para ello sólo es necesario un ordenador con un programa de acceso al protocolo telnet y un cable serie (RS-232). En la imagen 3 y 4 se muestra el cable conectado al ordenador en un extremo y al switch en el otro.



IMAGEN 19: CABLE SERIE (ORDENADOR)



IMAGEN 20: CABLE SERIE (SWITCH)

Una vez conectado el ordenador al switch, procedemos a establecer la conexión a través del protocolo telnet. Para ello podemos utilizar el programa “HyperTerminal” de Windows.

Tras abrir el programa seleccionamos el puerto al que esté conectado el cable serie (COM1 o COM2) y aceptamos.



IMAGEN 21: SELECCIÓN DEL PUERTO

Más adelante tendremos que configurar los parámetros de la conexión, para lo cual seleccionaremos 9600 bit/s, 8 bits de datos, paridad: ninguna, 1 bit de parada y control de flujo: ninguno.

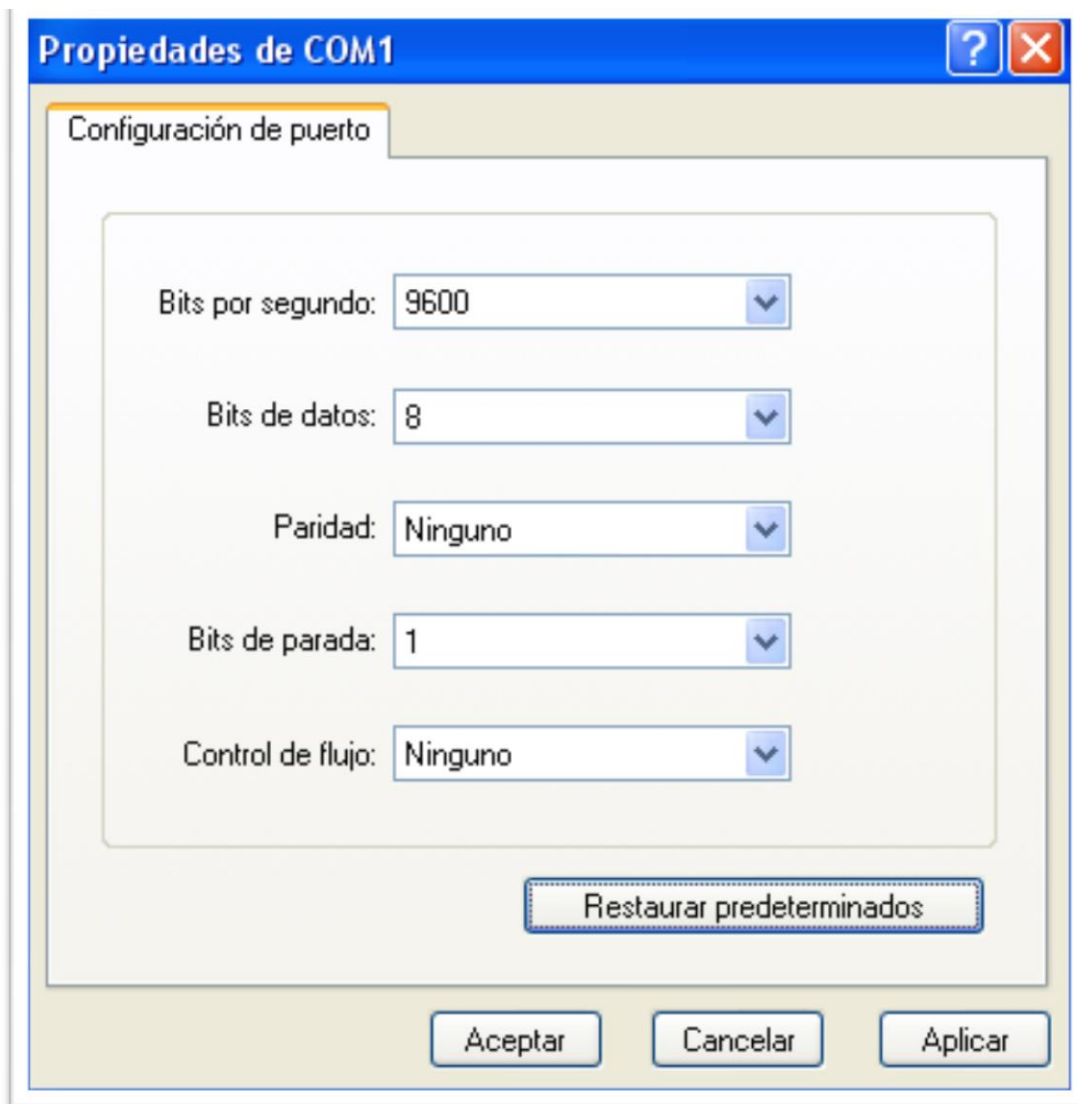


IMAGEN 22: PARAMETROS DE LA CONEXIÓN

Una vez establecida la conexión podremos autenticarnos con el usuario y la contraseña. En la configuración actual, el usuario es "admin" y la contraseña "aruba:uc3m". Además, para obtener acceso de administrador y poder realizar cambios en la configuración (y no solo consultas), utilizaremos el comando "enable", tras el cual se nos pedirá la contraseña de

administrador, que es idéntica a la anterior.

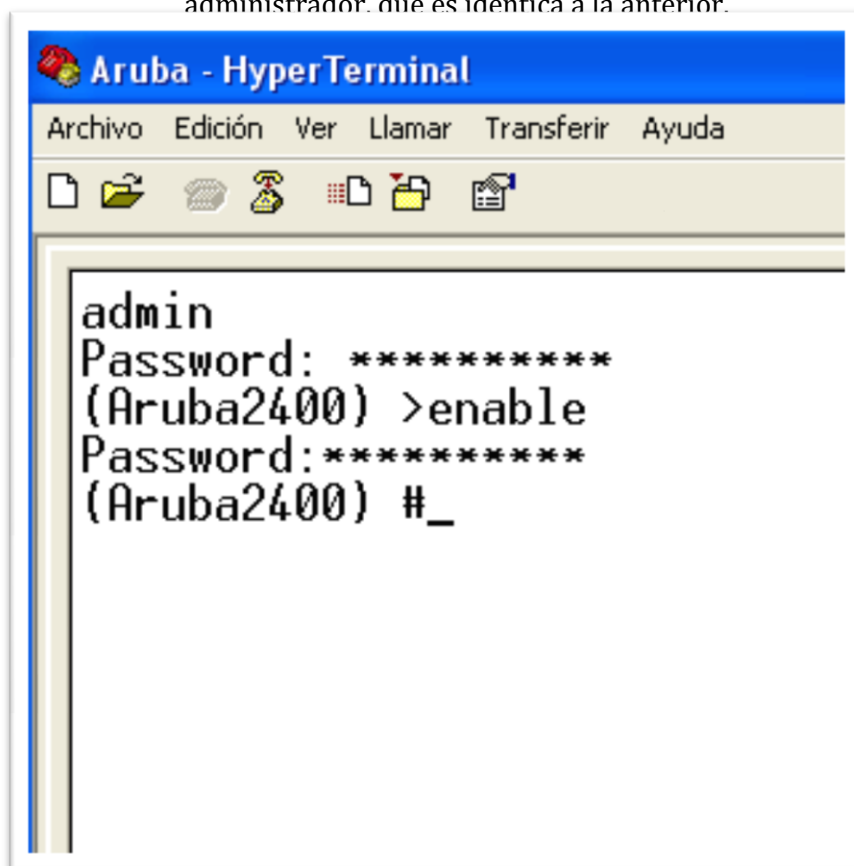


IMAGEN 23: AUTENTICACIÓN Y VALIDACIÓN

Como usuarios administradores tendremos acceso a todos los comandos proporcionados por el switch para su configuración.

En este documento destacaremos cuatro comandos de gran utilidad para obtener información sobre el estado del sistema: Help, ?, show, ping y exit.

Comando Help: Con este comando obtendremos ayuda sobre la configuración del HyperTerminal así como de las secuencias de escape disponibles.

Comando ?: Escribiendo "?" en el prompt obtendremos una lista de todos los posibles comandos. Además, escrito tras un comando, observaremos las posibles opciones de parámetros de que dispone dicho comando. Resulta una herramienta muy útil, con la que conocer mejor todas las opciones de que disponemos.

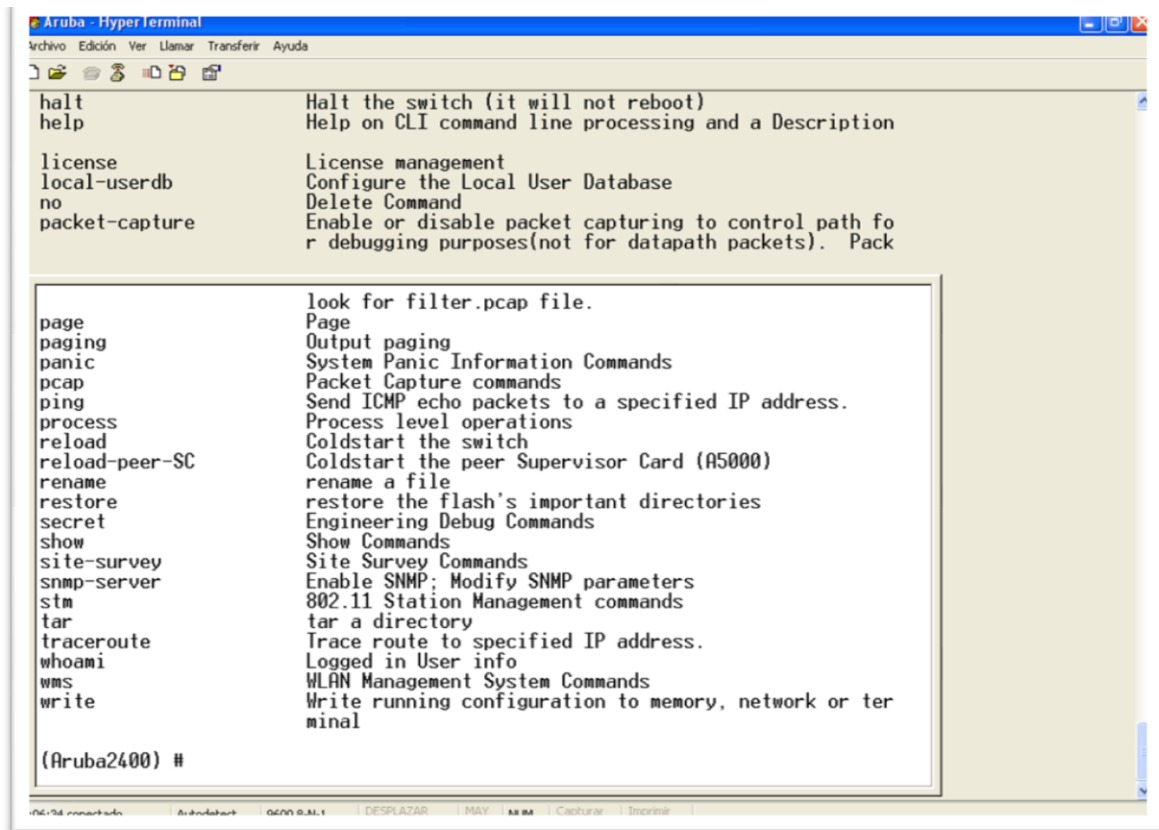


IMAGEN 24: COMANDO "?"

Comando show: Con él obtendremos información acerca del estado del sistema. El switch nos devolverá una u otra información en función de los parámetros que utilicemos detrás. Este es un comando muy importante para poder (más adelante) realizar la configuración de una manera más cómoda mediante interfaz web. Para ello necesitaremos conocer la IP del switch, la cual la podemos obtener mediante el comando: “show configuration” el cual nos devolverá una gran cantidad de información entre la que destacamos el “hostname” y la IP del switch.


```
Aruba - Hyperterminal
Archivo Edición Ver Llamar Transferir Ayuda

trustedbuggin
switchport access vlan 10
Show AAA conf

!u

interface gigabitethernet 1/25crypt
acl
    description "gig1/25" tableskeys in
    trusted
adp

version 2.5
enable secret "1b896cc0b3da9e72a39015849ce073594e05d8b5bfc76405"
telnet soe
hostname "Aruba2400"
logging level warnings stm
clock timezone PST -8

!
ip address 163.117.57.130 255.255.255.0

!
interface vlan 10
    ip address 10.1.10.1 255.255.255.0
!

ip default-gateway 163.117.57.2
ip route 255.255.255.255 255.255.255.255 163.117.57.2

ap-logging level warnings stm
max-imalive-retries 10
bkplms-ip 0.0.0.0
mode ap_mode
authalgo opensystem
--More-- (q) quit (u) pageup (/) search (n) repeat
```

IMAGEN 25: SALIDA DE SHOW CONFIGURACIÓN

Comando ping: Con este comando podremos realizar un ping (Packet Internet Gro- per) a una IP determinada. De esta manera podemos saber si un determinado elemento de la red (ya sea cliente, o punto de acceso) esta accesible desde el switch.

Comando exit: Una vez realizado el trabajo necesario, procederemos a realizar un exit a fin de cerrar la sesión.

En conclusión obtenemos que el trato de las funcionalidades más complejas puede ser muy complejo tratarlo mediante telnet. Pero sí puede resultar de una gran utilidad como primera toma de contacto, para obtener información básica de configuración (como la IP asignada al switch) que después puede ser necesaria para un acceso más elaborado, como el explicado en el siguiente apartado.

VÍA ETHERNET

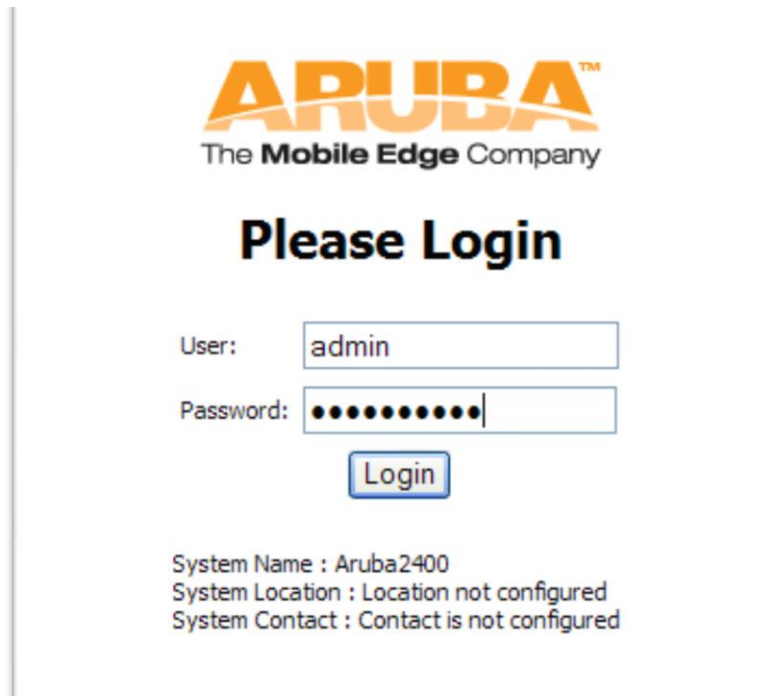
El switch Aruba proporciona una interfaz web mediante el protocolo http, accesible con cualquier navegador²⁶. Conociendo la IP asignada al switch en la red local, tan solo debemos insertarla en la barra de direcciones del navegador, y llegaremos a la ventana de autenticación mostrada en la imagen 10.

Es importante destacar, que la IP del switch puede ser obtenida mediante telnet, como ya se explicó en el apartado “vía telnet”. Además, debemos cerciorarnos de que ningún otro dispositivo trabaja con la misma IP asignada, para lo cual podemos realizar

²⁶ Se han encontrado problemas al trabajar con el navegador FireFox, se recomienda el uso de Internet Explorer.

una sencilla prueba: con el switch apagado, y desde el mismo segmento de red local, realizamos un ping (Packet Internet Groper) a dicha IP, el resultado, obviamente debe ser no recibir ninguno de los paquetes mandados.

Recordemos que el nombre de usuario es admin y la contraseña aruba:uc3m.

The image shows a web-based login interface for an Aruba device. At the top, the Aruba logo is displayed in orange, with the tagline "The Mobile Edge Company" in black below it. The main heading "Please Login" is centered in a large, bold, black font. Below this, there are two input fields: "User:" with the text "admin" entered, and "Password:" with a series of black dots representing a masked password. A blue "Login" button is positioned below the password field. At the bottom of the page, three lines of system information are listed: "System Name : Aruba2400", "System Location : Location not configured", and "System Contact : Contact is not configured".

ARUBA™
The **Mobile Edge** Company

Please Login

User:

Password:

System Name : Aruba2400
System Location : Location not configured
System Contact : Contact is not configured

IMAGEN 26: USUARIO Y CONTRASEÑA

Una vez autenticados en el sistema, dispondremos de una completa funcionalidad accesible de manera cómoda y sencilla, mediante el navegador web.

En la imagen 11 se muestra el esquema de funcionalidad del interfaz web proporcionado.

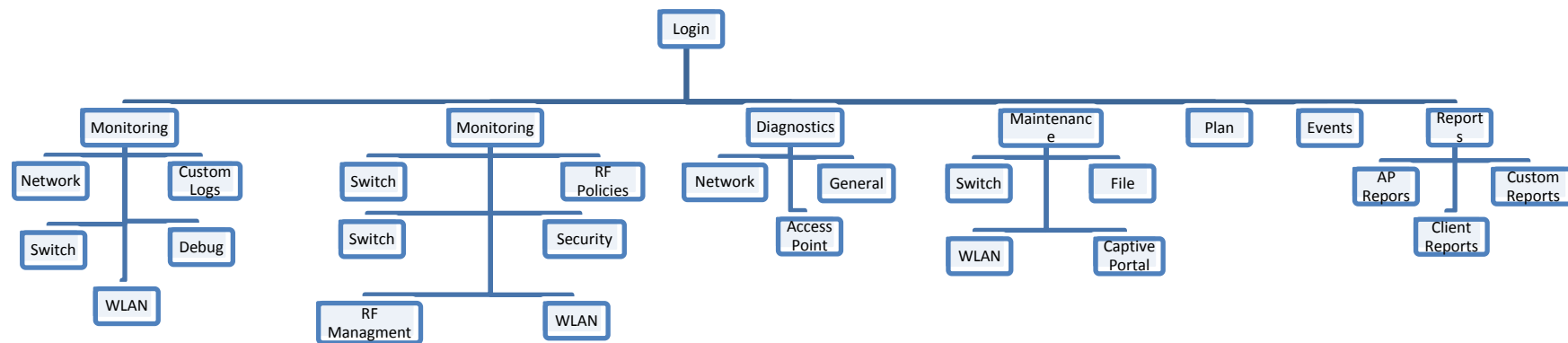


IMAGEN 27: ESQUEMA DE FUNCIONALIDADES

Aruba 2400

A continuación explicaremos brevemente cada una de las opciones principales a las que tendremos acceso.

MONITORING

Ésta será la pantalla de observación principal para la gestión del sistema. En ella tendremos resumida toda la información del estado actual de la red inalámbrica, como número de puntos de acceso, número de clients, etc.

En ella no podremos realizar ningún cambio en la configuración, pero si obtener información útil para la gestión del sistema.

CONFIGURATION

Consiste en la pantalla donde realizaremos todos los cambios relativos a la configuración de la red inalámbrica.

En ella podremos definir el número de redes inalámbricas del sistema, así como la configuración de cada una de ellas. Como se muestra en la imagen 12.

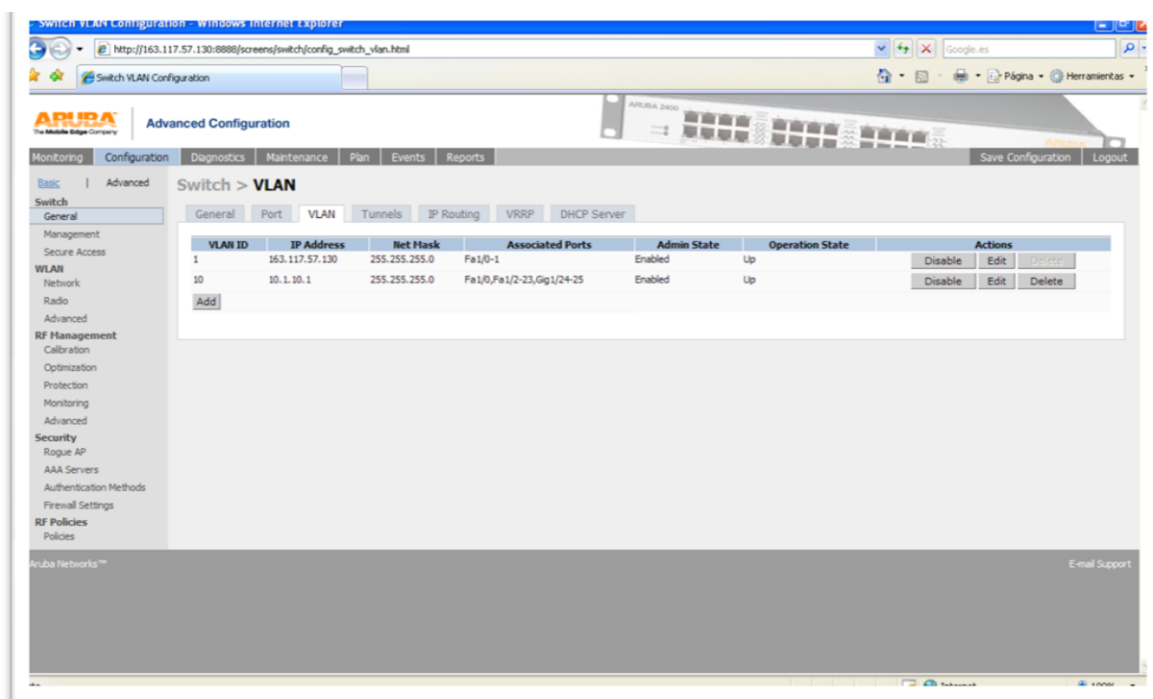


IMAGEN 28: GESTION DE VLANS

DHCP

El switch Aruba puede hacer las funciones de servidor DHCP (servidor dinámico de direcciones IP) para los clientes y puntos de acceso de las redes inalámbricas.

Esta opción puede resultarme recomendable si, como suele ocurrir en las redes inalámbricas, el número de clientes conectados va a ser muy variable.

Para ofrecer esta funcionalidad deberemos activarla y configurarla en la sección Configuration → Switch → General → DHCP Server. Tal y como se muestra en la figura once.

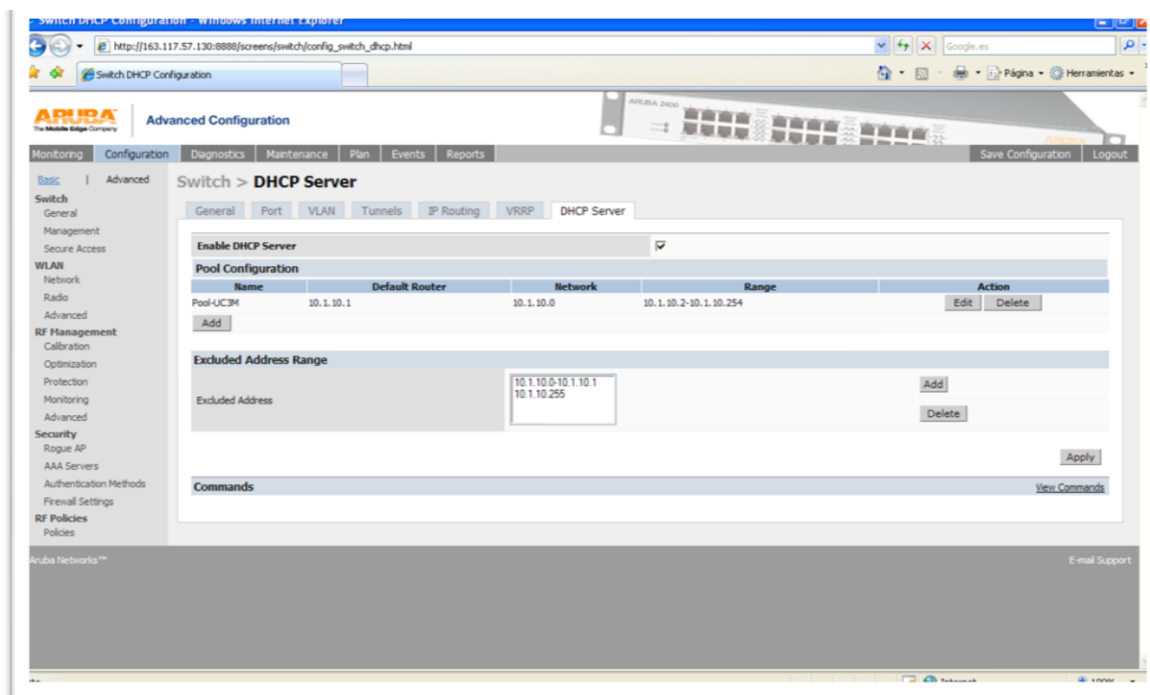


IMAGEN 29: SERVIDOR DHCP

Otros parámetros importantes de configuración como el “hostname”, o los usuarios con acceso al switch (tanto a la interfaz web o por telnet) pueden ser configurados en las pantallas Configuration → Switch → Management → SNMP o Configuration → Switch → General → Access Control, respectivamente.

DIAGNOSTICS

En esta pestaña podremos realizar todas las operaciones relacionadas con el diagnóstico del estado de cada uno de los elementos que componen las redes inalámbricas.

Por su especial importancia y utilidad destacaremos dos de las funciones disponibles, “ping” y “software status”.

Ping: Accesible desde Diagnostics → Network → Ping, consiste en el envío de paquetes con el fin de determinar si una determinada dirección IP (y por lo tanto el dispositivo que la lleve asociada) son accesibles desde el switch. Nótese su comportamiento es idéntico que el comando homónimo de telnet (véase [“Vía Telnet”](#)).

En la imagen 14 podemos observar una llamada a dicha funcionalidad (vía http).

Aruba 2400

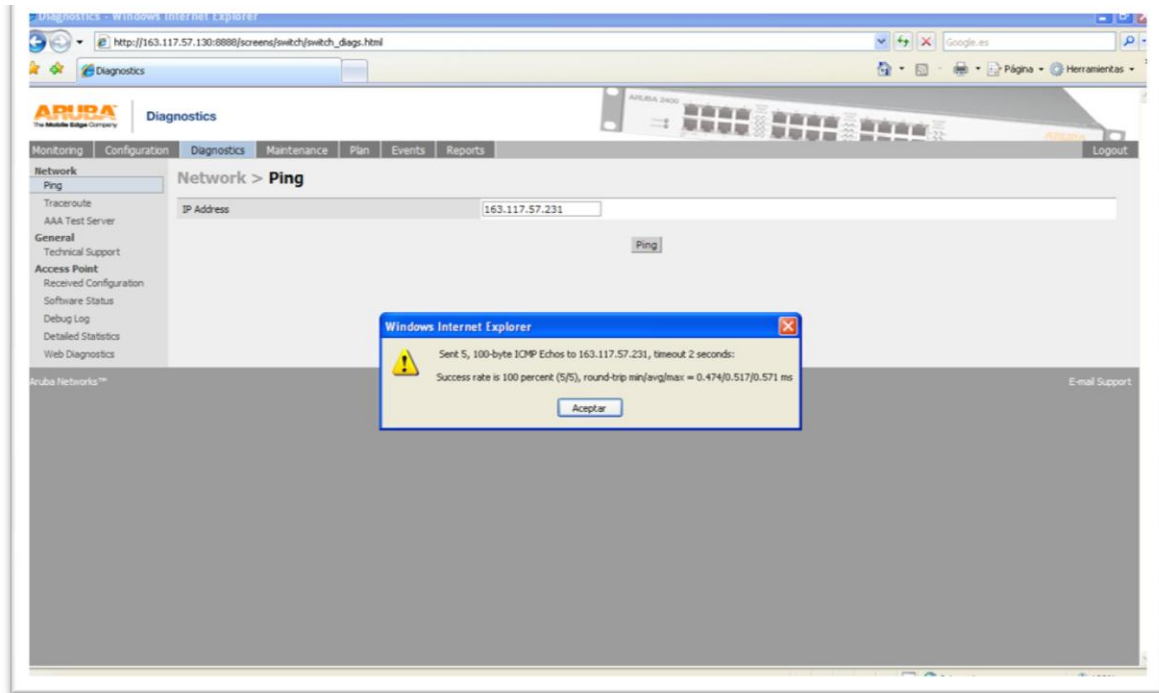


IMAGEN 30: FUNCIÓN PING

Software status: Accesible desde Diagnostics → Access Point → Software Status, nos proporciona toda la información sobre el firmware instalado en el punto de acceso indicado (mediante su dirección IP). En la imagen 15 podemos observar la salida obtenida para un punto de acceso cualquiera.



Imagen 31: Software status (AP)

VÍA WIFI

Por último, tenemos la posibilidad de conectarnos a la interfaz gráfica vía web a través de una de las redes inalámbricas creadas por el sistema Aruba. Es importante destacar que no se trata de otro interfaz web, sino del mismo explicado en el apartado anterior ("[vía Ethernet](#)") accedido de una manera diferente.

Por lo tanto, todas las explicaciones del apartado anterior son perfectamente válidas, a excepción de la manera de conectarse al interfaz mediante el navegador.

Una vez más, deberemos introducir la IP del switch, pero ésta será diferente al tratarse de una red diferente.

El switch hace de punto de enlace de diversas redes: La red local a la que esté conectado (opcional) y todas las redes inalámbricas que se tengan instaladas en él. Por tanto, el switch tendrá una IP diferente por cada una de estas redes. Como se muestra en el ejemplo de la figura catorce:

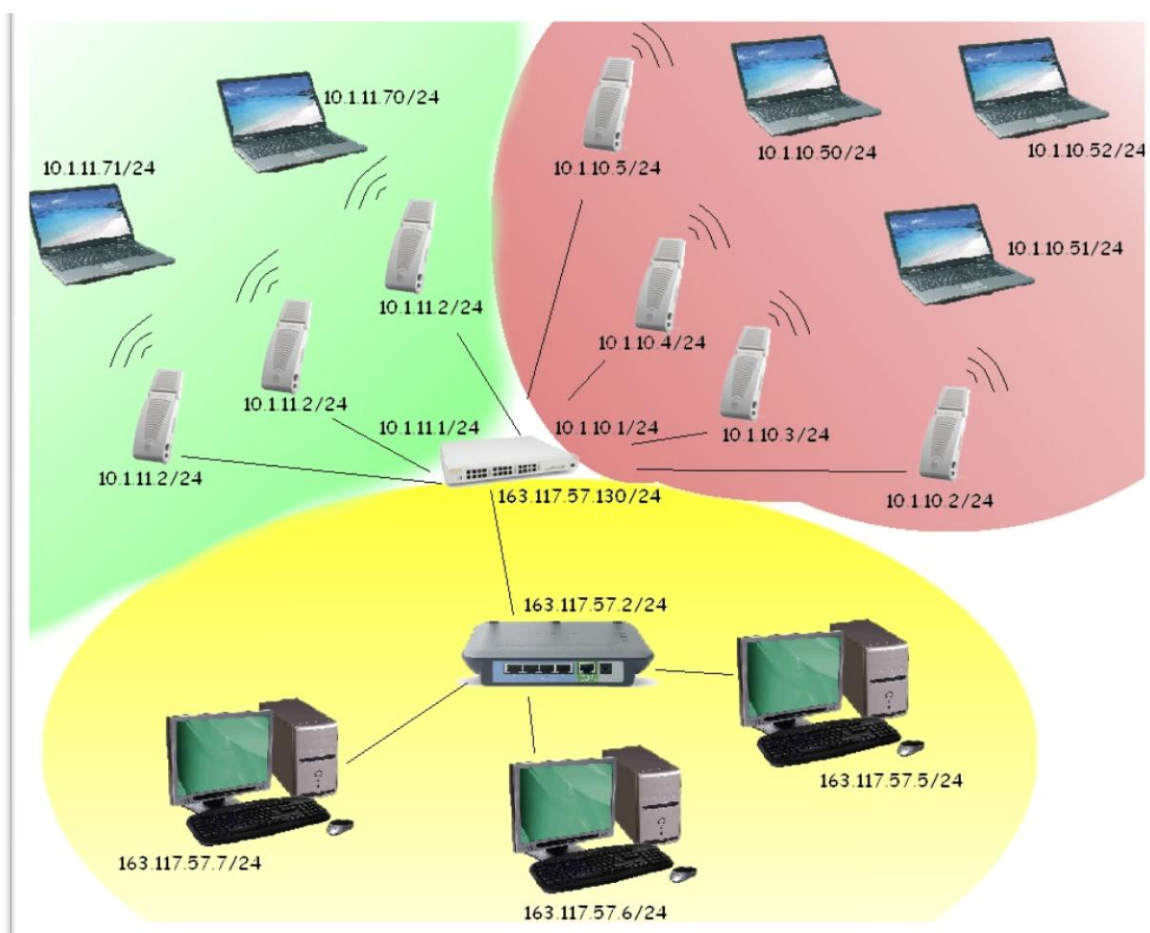


IMAGEN 32: TOPOLOGÍA DE LA RED

Por tanto para acceder a la web de configuración del switch deberemos escribir en la barra de direcciones de nuestro navegador la dirección IP del switch que corresponda a la red en la que estemos conectados.

Por ejemplo, si el ordenador con IP 10.1.10.52 quisiera acceder, deberá utilizar la IP 10.1.10.1.

CONFIGURACIÓN DE LOS PUNTOS DE ACCESO

Como ya hemos explicado en el apartado “[Instalación de los puntos de acceso](#)”, debemos cerciorarnos de que reciban electricidad (ya sea por el cable de red o por el suministro eléctrico) y de que tengan conexión de datos con el switch.

Una vez conectados los puntos de acceso, el switch se encargará de asignarles una IP dinámica (si configuramos el servidor DHCP, véase “[DHCP](#)”).

En la pestaña “port” dentro de Configuration → Network, podremos seleccionar la red inalámbrica a la que queremos que preste servicio un punto de acceso determinado (seleccionándolo por el puerto al que esté conectado).

GESTIÓN DEL PLAN FÍSICO

Una de las características más interesantes del sistema Aruba consiste en la posibilidad de realizar la localización de un determinado cliente (conectado a una de las redes inalámbricas).

Para ello necesitaremos establecer la configuración del plan, estableciendo las medidas y disposición de cada uno de los edificios, así como la posición de los puntos de acceso.

Además, para establecer una medida del error cometido por la localización del sistema, realizaremos un replanteo en el medio físico para obtener posiciones reales (con errores de medición despreciables) para así poder establecer comparaciones ilustrativas.

GESTIÓN LÓGICA

En este punto estableceremos toda la configuración del sistema de edificios en el switch. Para ello accederemos a la pestaña “Plan”, teniendo la opción de crear una nueva configuración (“New Building”) o editar una existente (“Edit Building”).

Existen dos limitaciones fundamentales que debemos tener en cuenta a la hora de crear los edificios:

1. Solo es posible introducir tres medidas, correspondientes a las tres dimensiones de un prisma (altura, anchura, profundidad). Por lo que si nos encontramos ante un edificio con una forma diferente deberemos crear un prisma que lo contenga. Nótese que en el caso de tener una altura constante en toda la planta (como suele ocurrir en la mayoría de edificios), bastará con aproximar su planta con un rectángulo que lo contenga. En la imagen 17 se puede observar un ejemplo de lo comentado anteriormente, se trata de uno de los pasillos del campus de Colmenarejo de la universidad Carlos III:

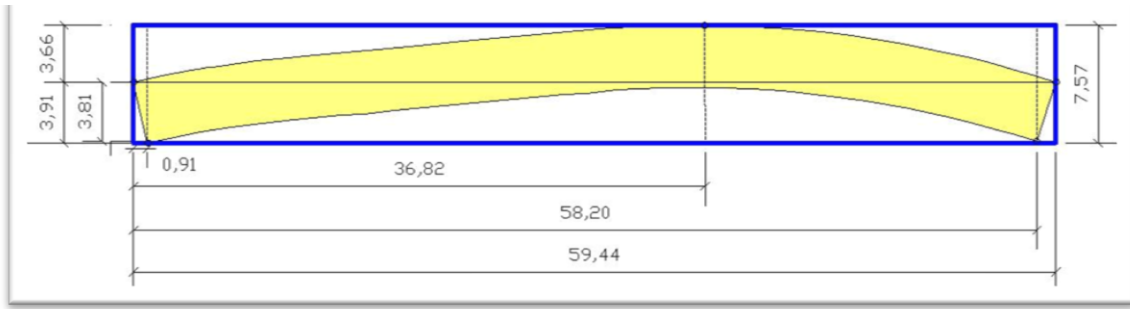


IMAGEN 33: APROXIMACIÓN PLANTA PASILLO

2. A la hora de introducir las medidas (explicadas en el punto 1) no es posible introducir decimales, por lo que la precisión de las medidas vendrá marcada por la unidad de medida escogida: Metro o pie (feet). Por lo tanto, es aconsejable utilizar pies, pues al tratarse de una unidad más pequeña nos dará mayor precisión:

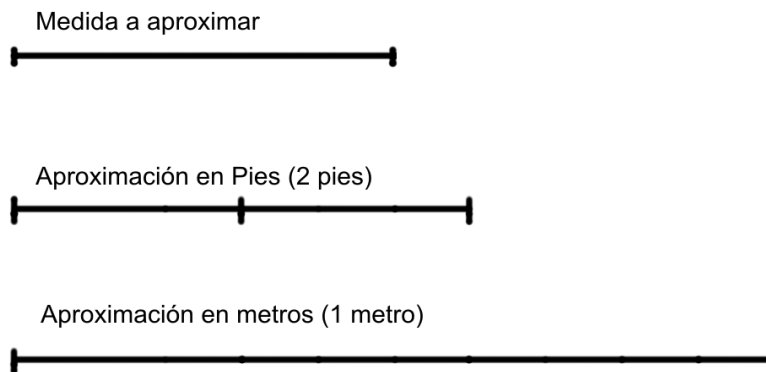


IMAGEN 34: APROXIMACIÓN DE UNA MEDIDAD

Una vez tengamos estas dos limitaciones en mente, será muy sencillo realizar la configuración de un nuevo edificio, introduciendo en la interfaz cada una de sus medidas.

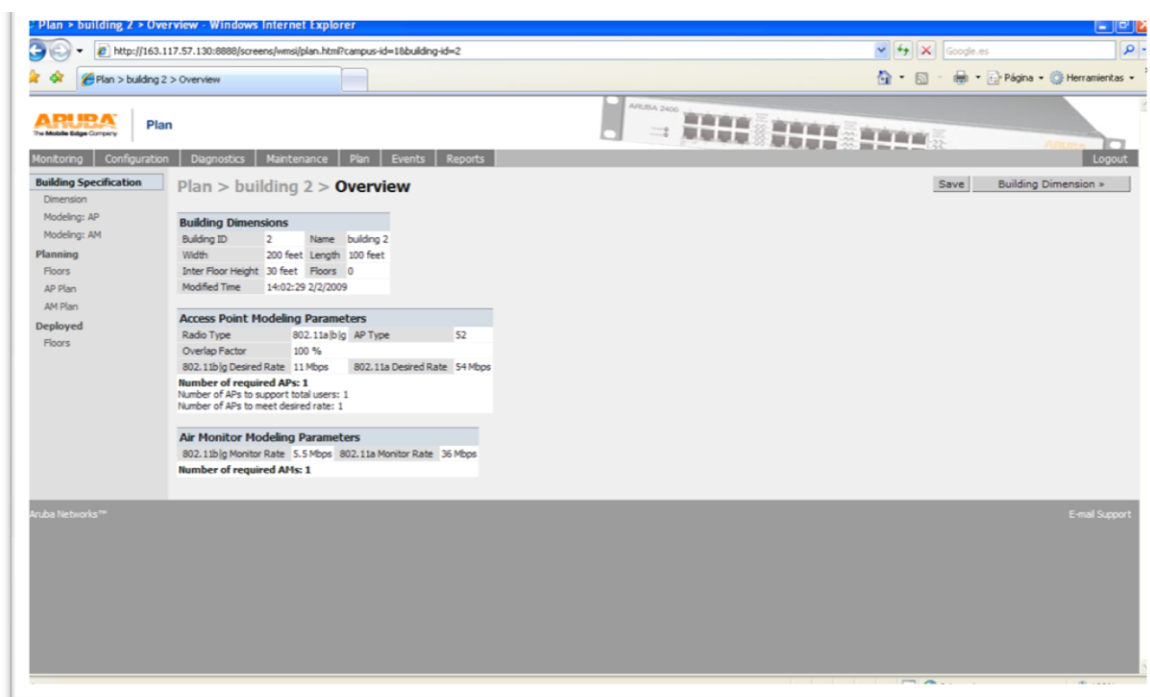


IMAGEN 35: CREACIÓN DE UN NUEVO EDIFICIO

Tras crear un edificio, deberemos situar las posiciones asignadas a los puntos de acceso que vayan a realizar la localización. Para ello nos situamos en la pestaña de “AP Plan” y en el apartado “Suggested Access Points and Air Monitors” pulsamos en “new”.

La manera de situar las posiciones consiste en introducir dos coordenadas, x e y. Es importante destacar que no es posible introducir su altura, lo cual puede generar cierto ruido en la medición.

De esa manera, localizamos las diferentes posiciones, identificadas por tres números correspondientes al edificio, zona y número de AP respectivamente. Por ejemplo, la posición 2.1.3 estará situada en el edificio número 2, la zona número 1 y la AP número 3.

Una vez situadas las diferentes posiciones deberemos asignarlas a los puntos de acceso (AP). Para ello iremos a la pestaña Maintenance (no olvidar guardar los cambios producidos en el plan).

Dentro de la pestaña Maintenance nos movemos a la sección Program AP, donde podremos seleccionar un AP y presionar el botón Provision.

Aruba 2400

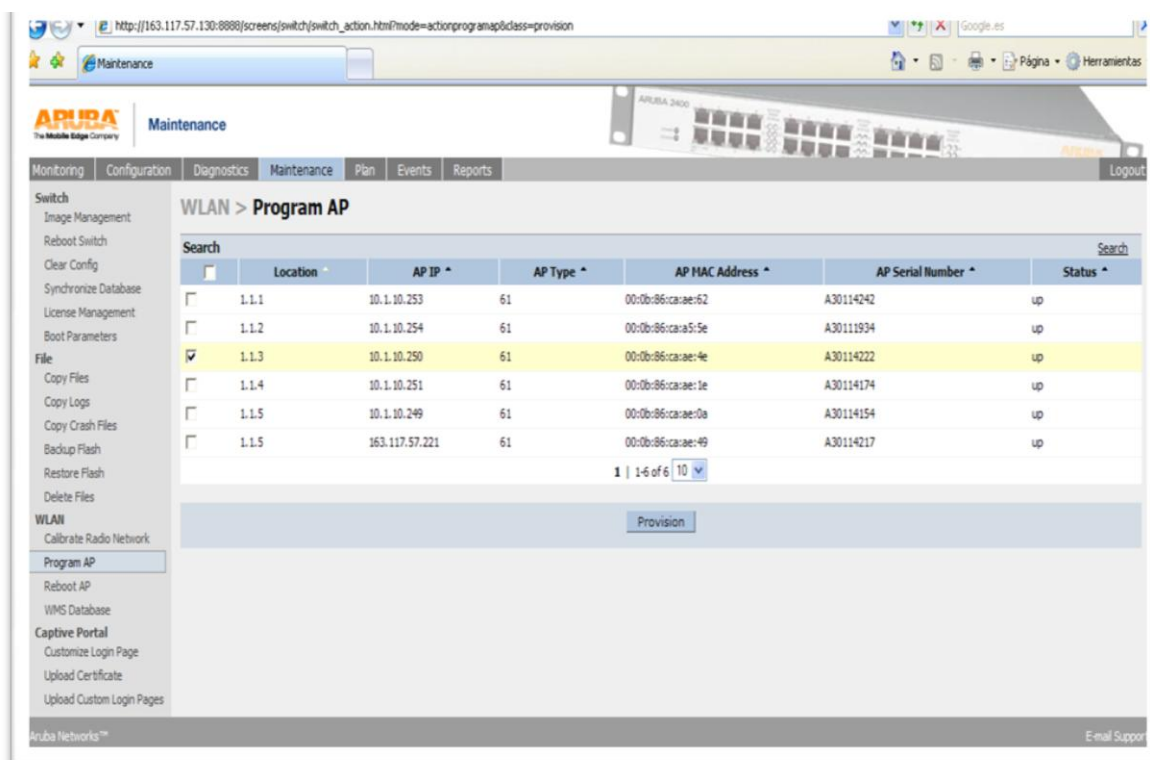


IMAGEN 36: ASIGNACIÓN DE LA POSICIÓN A LOS AP'S (1)

En la nueva ventana (Provision) podremos gestionar varios parámetros del AP, entre los que destaca la posición asociada.

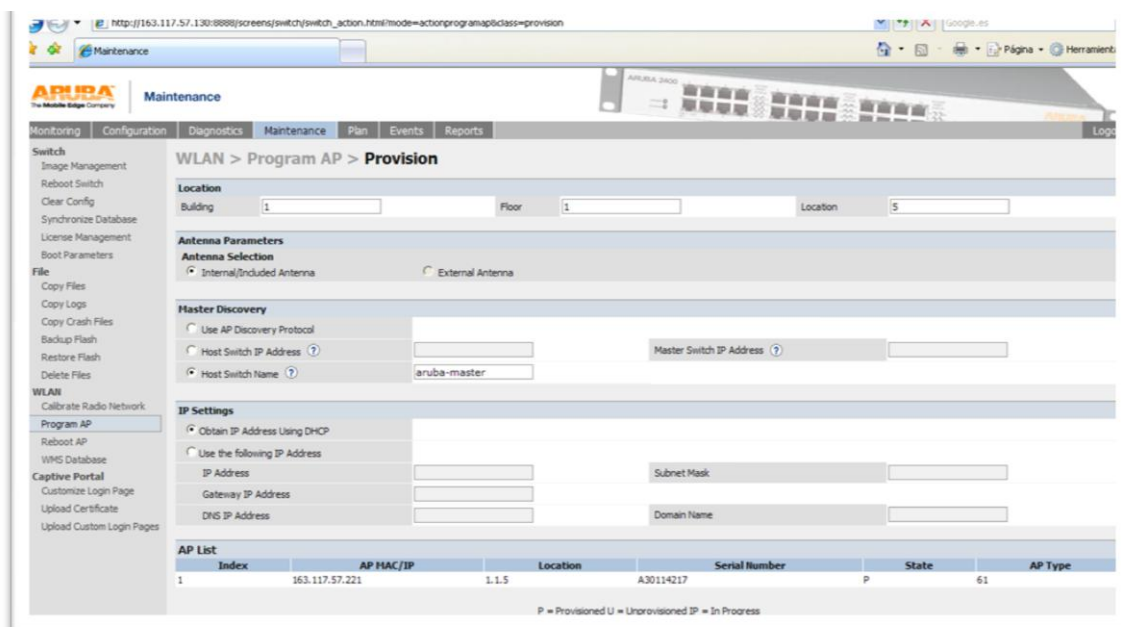


IMAGEN 37: ASIGNACIÓN DE LA POSICIÓN A LOS AP'S (2)

GESTIÓN FÍSICA (REPLANTEO)

Para poder tener una medida de la precisión de las mediciones realizadas por el sistema debemos conocer los valores reales de una determinada posición.

Para ello debe realizarse un replanteo que nos permita localizar una serie de puntos guía (o una línea) para poder, en función de estos puntos, localizar cualquier punto del espacio. En la imagen 17 se puede observar un plano de uno de los pasillos del campus de Colmenarejo donde la línea que atraviesa en sentido horizontal marca la coordenada $x = 0$. Esta línea ha sido llevada al terreno y marcada con una serie de puntos (25 en total).

IV. PRESUPUESTO DE IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA

RECURSOS SOFTWARE

Respecto a los recursos software utilizados cabe destacar que todas las licencias de pago se han obtenido a través de MSDN Academy ²⁷ofrecido por la universidad Carlos III.

El software correspondiente a la gestión del sistema Aruba 2400 se ha incluido en los recursos hardware.

Las herramientas software utilizadas han sido:

- Microsoft® Windows XP
- Microsoft® Office 2007
- Eclipse

	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Microsoft Office 2007	1	0.00 €	0.00 €
Microsoft Windows XP	1	0.00 €	0.00 €
Eclipse SDK v 3.5	1	0.00 €	0.00 €
Total			0.00 €

TABLA 8: COSTE DE LOS RECURSOS SOFTWARE

RECURSOS HARDWARE

Los recursos hardware empleados en el proyecto han sido los siguientes:

- PDA HP Ipaq 114
- Switch Aruba 2400
- Antenas Aruba AP-61
- Cables de Red RJ 45

A continuación se detalla la información de las cantidades utilizadas y los precios de cada elemento:

	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
PDA HP Ipaq 114	1	270.00 €	270.00 €
Switch Aruba 2400	1	6,189.00 €	6,189.00 €
Antena Aruba AP-61	6	202.00 €	1,212.00 €
Cable de Red RJ 45	45.00 m	0.80 €	36.00 €

²⁷ Convenio entre la universidad Carlos III de Madrid y Microsoft para servir de forma gratuita aplicaciones a los miembros de la comunidad universitaria mediante la página web: <http://msdn30.e-academy.com>.

Aruba 2400

Total		7,707.00 €

TABLA 9: COSTE DE LOS RECURSOS HARDWARE

PLANIFICACIÓN

La planificación del proyecto se ha elaborado pensando en la duración del curso académico 2008/2009, así como los recursos disponibles y la estimación de esfuerzo para cada una de las tareas.

Se ha realizado una división en dos grandes bloques. El primero de ellos se corresponde con la investigación de las tecnologías de localización, la creación del manual de instalación y desarrollo de la aplicación de medición. El segundo gran bloque es el perteneciente a la puesta en marcha y la realización de las pruebas del sistema de localización. Por último, la implantación definitiva del sistema de localización queda al margen de este proyecto.


Id		Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1		Proyecto Aruba 2400	175 días	lun 03/11/08	vie 03/07/09
2		Fase 1: Investigación de las te	105 días	lun 03/11/08	vie 27/03/09
3		Investigación de las tecnolog	30 días	lun 03/11/08	vie 12/12/08
4		Búsqueda de productos	10 días	lun 15/12/08	vie 26/12/08
5		Creación del manual de instal	40 días	lun 29/12/08	vie 20/02/09
6		Diseño de la aplicación de me	15 días	lun 23/02/09	vie 13/03/09
7		Desarrollo de la aplicación de	10 días	lun 16/03/09	vie 27/03/09
8		Fase 2: Puesta en marcha y la	70 días	lun 30/03/09	vie 03/07/09
9		Instalación del software	5 días	lun 30/03/09	vie 03/04/09
10		Montaje del hardware	10 días	lun 30/03/09	vie 10/04/09
11		Fase de pruebas	50 días	lun 13/04/09	vie 19/06/09
12		Interpretación de pruebas	10 días	lun 22/06/09	vie 03/07/09
13		Presentación de resultados	1 día	lun 06/07/09	lun 06/07/09

TABLA 10: TAREAS DEL PROYECTO

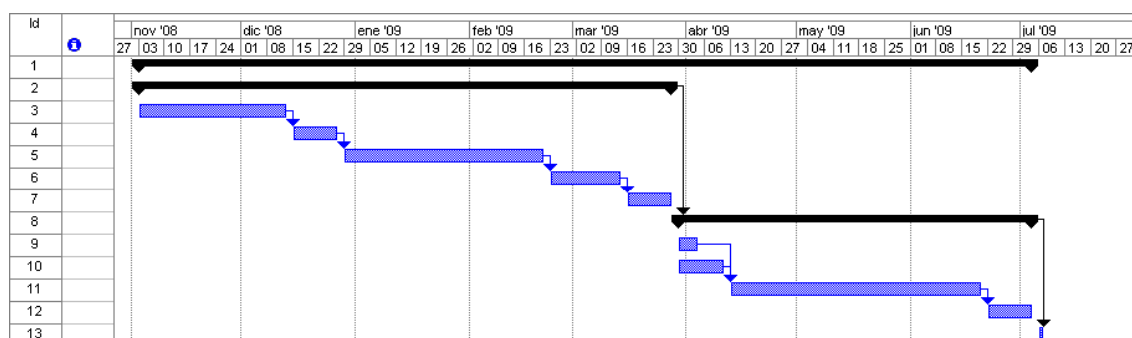


IMAGEN 38: DIAGRAMA DE GANTT

RECURSOS HUMANOS

Todo el desarrollo del proyecto ha sido llevado a cabo por una sola persona. Al tratarse de un alumno de último curso de ingeniería en informática se ha considerado como licenciado.

Además hay que destacar que el coste varía según el año ya que dicho proyecto ha comenzado en Noviembre del 2008 y tiene como fecha de finalización Septiembre del 2009. El coste bruto por hora de un diplomado en el año 2008 ascendía a un total de 33,51 €/hora y en el año 2008 34,80 €/hora.

	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Diplomado 2.008	262.5	33.51 €	8,796.38 €
Diplomado 2.009	187.5	34.80 €	6,525.00 €
Total			15,321.38 €

TABLA 11: COSTE DE LOS RECURSOS HUMANOS

RESUMEN

A continuación se resumen los datos obtenidos en los apartados anteriores, realizando un análisis de los costes obtenidos y sus proporciones respecto al montante total del proyecto.

	Software	Hardware	Recursos Humanos	Total
Precio	0.00 €	7,707.00 €	15,321.38 €	23,028.38 €

TABLA 12: RESUMEN PRESUPUESTO

En el presupuesto final los recursos humanos se llevan el 52 % del presupuesto, el hardware el 48 % y el 2 % aproximadamente es para otros gastos.

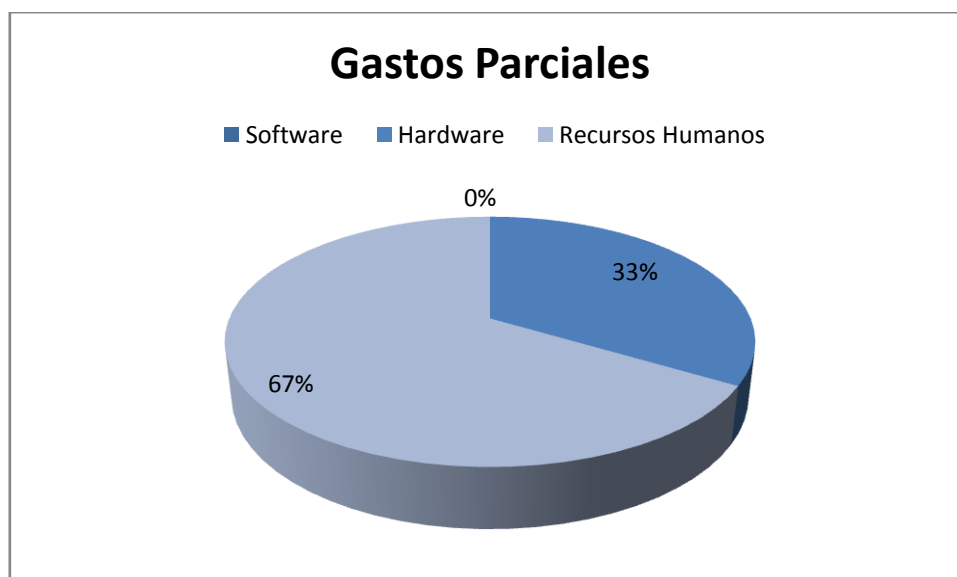


GRÁFICO 3: GASTOS PARCIALES DEL PRESUPUESTO

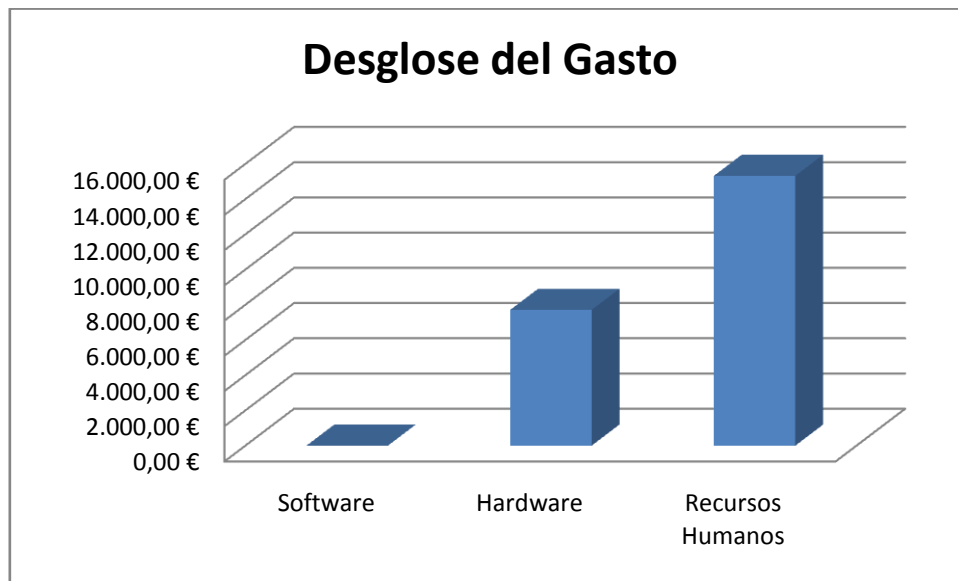


GRÁFICO 4: DESGLOSE DEL GASTO DEL PRESUPUESTO

V. MEDICIONES

PROCESO DE MEDICIÓN

A continuación presentaremos una detallada descripción de las medidas realizadas con el sistema de localización Aruba 2400.

En primer lugar mostraremos una descripción del sistema de localización así como una descripción general del proceso llevado a cabo.

Más adelante, mostraremos en detalle cada uno de los entornos propuestos, singularidades y resultados obtenidos.

Y por último mostraremos las conclusiones obtenidas del análisis detallado de los resultados.

DESCRIPCIÓN GENERAL

LOCALIZACIÓN

Todos los entornos seleccionados para la realización de las pruebas se encuentran en el campus de Colmenarejo de la universidad Carlos III de Madrid, en los edificios Miguel de Unamuno y Menéndez Pidal.

CREACIÓN DEL PLAN

Una vez seleccionado el escenario para realizar la localización, es necesario introducir los datos del entorno al sistema Aruba. Para ello procederemos a la creación de un nuevo plan (véase Gestión del plan físico).

En la pestaña plan, de la interfaz del Aruba, encontramos la opción de crear un nuevo edificio. En ella, podremos introducir los datos de anchura y longitud del entorno seleccionado. Por tanto es importante destacar que el entorno quedará definido por un rectángulo.

Para la realización de las mediciones aquí descritas, se ha dispuesto de la posibilidad que ofrece el sistema de introducir una imagen con los planos del entorno, tal y como se muestra en la siguiente imagen:

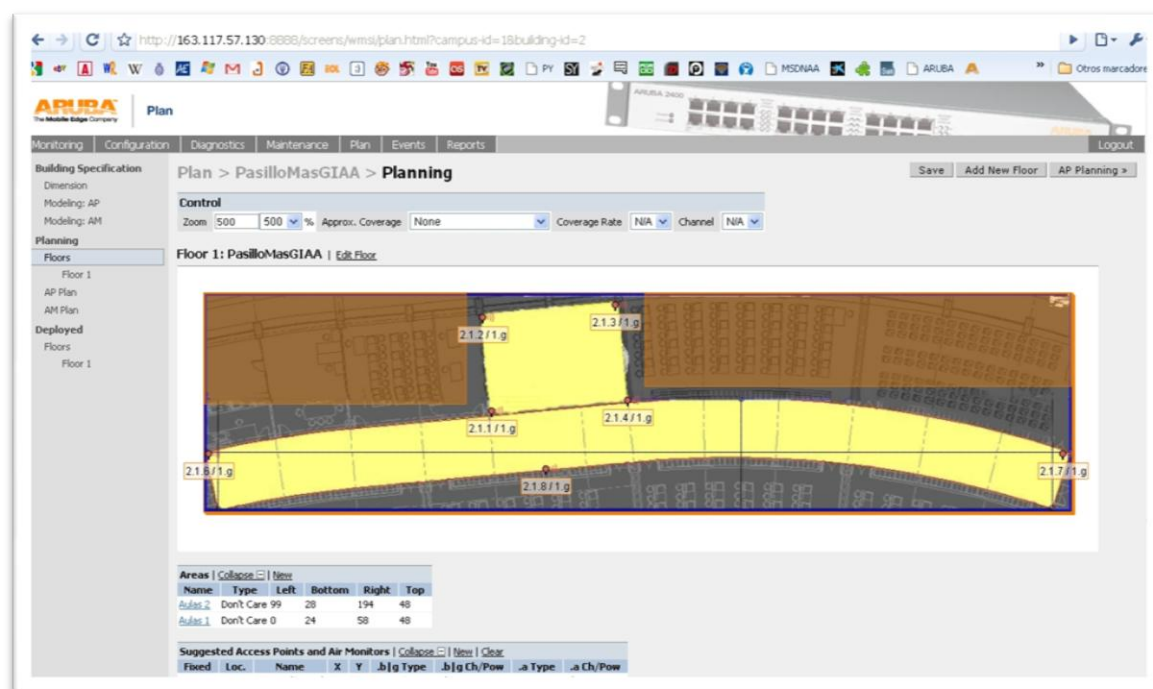


IMAGEN 39: PLAN GRÁFICO

De esta manera, podemos situar de forma más cómoda y eficiente el sistema de antenas y el equipo a localizar. Además de las zonas de la planta en la que “no queremos” o “no nos importa” que haya cobertura Wi-Fi.

REPLANTEO

Una vez introducidos los datos en el sistema de localización Aruba, debemos poder situar cualquier punto real del entorno en función del eje de coordenadas cartesianas con el que se gestiona el plan. Recordemos que todo edificio se encuentra definido por un rectángulo, cuya base compone el eje X, y cuyo lado izquierdo compone el eje Y.

De esta forma, dado un punto en el espacio, debemos ser capaces de calcular su coordenada X y su coordenada Y.

El método de trabajo utilizado en cada uno de los entornos ha variado ligeramente en función de las particularidades de su geometría, y será explicado con mayor detalle en los puntos subsiguientes. Pero de forma general, en trabajo realizado consiste en crear un eje de coordenadas secundario, fácil de situar en el plano físico y cuyas coordenadas fueran paralelas a las del sistema inicial. De esta manera, situando un punto en el eje de coordenadas inicial, las coordenadas de ese punto en el sistema primario se obtienen mediante una sencilla transformación.

INSTALACIÓN DEL SISTEMA

Una vez creado el plan, y habilitado la posibilidad de localizar un punto dado en el entorno, procederemos a la instalación del sistema Aruba.

Para ello deberemos situar cada uno de los puntos de acceso (antenas Wi-Fi) en los lugares seleccionados en el plan. Es importante destacar, que la cantidad y la disposición

geométrica de las antenas influye de manera decisiva a la hora de realizar una correcta localización.

El sistema de localización Aruba se basa en la triangulación de la posición mediante la medición de la intensidad de la señal recibida en cada una de las antenas (RSSI). Por tanto, una buena disposición es esencial para realizar una buena localización.

En la siguiente imagen podemos observar dos ejemplos típicos de mala y buena disposición geométrica respectivamente:

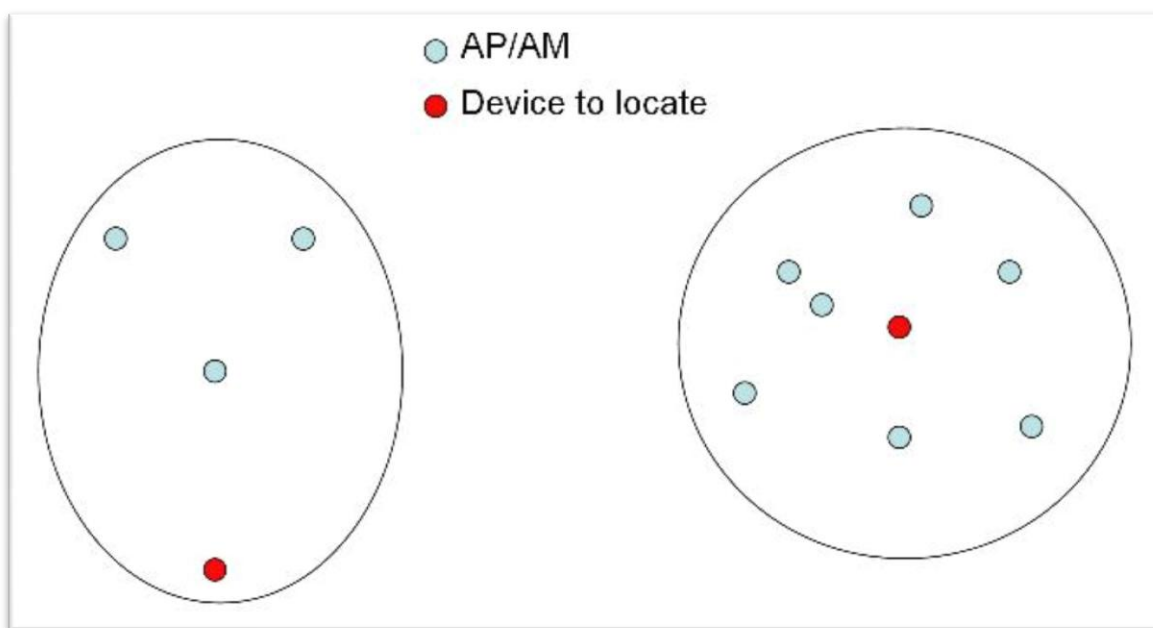


IMAGEN 40: TRIANGULACIÓN

MEDICIÓN

Una vez instalado el sistema procederemos a colocar el dispositivo a localizar. Para ello lo situaremos en un punto con las coordenadas conocidas procederemos a conectarlo a la red inalámbrica creada por el dispositivo Aruba.

Es importante considerar que la calidad de la medición dependerá en parte de la cantidad de tráfico generado por el dispositivo. Por tanto, debemos asegurarnos de que fluya tráfico que permita realizar una medición adecuada. Para ello, podríamos realizar desde el dispositivo un alto número de peticiones http, pero de manera más cómoda podemos ordenar al sistema Aruba que genere tráfico sintético (paquetes null) de forma constante mediante el parámetro “&track-duration=<tiempo en segundos>”.

Ya hemos explicado previamente que el sistema Aruba utiliza la medida de potencia que recibe cada punto de acceso (RSSI) para realizar la triangulación de la posición del dispositivo. Pero es importante destacar que la medida del RSSI de cada antena no consiste en una medida instantánea, sino de una media calculada con todos los paquetes enviados en un determinado intervalo de tiempo. Este intervalo de tiempo se indica al sistema mediante el parámetro “&duration=<tiempo en minutos>” y debe estar comprendido entre uno y sesenta. Por tanto, debemos ser conscientes de que la granularidad máxima de la medición es de un minuto.

Más adelante, en las conclusiones, hablaremos en detalle de lo que supone esta cuestión para el posterior análisis de los datos obtenidos. Pero de momento debemos comentar que para poder realizar un número adecuado de medidas (en los casos siguientes serán veinte) debemos esperar un minuto para cada una de ellas, para asegurar así que cada medida se ha obtenido de un subconjunto independiente de datos con respecto a la anterior.

En los escenarios explicados más adelante se realizará la medición de cinco posiciones diferentes en cada uno de ellos, a excepción del primero, que por componerse de dos partes dispondrá de diez posiciones en lugar de cinco. Además, se realizará la localización de cada posición veinte veces, respetando para cada una de ellas el tiempo mínimo de un minuto para asegurar así la independencia de los datos obtenidos.

Para cada posición se realizará, como ya se ha comentado, la toma de veinte medidas independientes. Todos los datos se almacenarán en un documento Excel (csv) junto con la posición real del dispositivo y una serie de valores estadísticos descritos a continuación.

- Posición real en X: Coordenada X del dispositivo calculada en el terreno mediante el replanteo.
- Posición real en Y: Coordenada Y del dispositivo calculada en el terreno mediante el replanteo.
- Media en X de las Mediciones Aruba: Media muestral de las mediciones realizadas para la coordenada X del dispositivo.
- Media en Y de las Mediciones Aruba: Media muestral de las mediciones realizadas para la coordenada Y del dispositivo.
- Desviación típica en X de las mediciones: Desviación típica de las mediciones obtenidas para la coordenada X.
- Desviación típica en Y de las mediciones: Desviación típica de las mediciones obtenidas para la coordenada Y.
- Varianza en X de las mediciones: Varianza de las mediciones obtenidas para la coordenada X.
- Varianza en Y de las mediciones: Varianza de las mediciones obtenidas para la coordenada Y.
- Media en X del error: Media muestral de la diferencia (en valor absoluto) de la medición en la coordenada X y la coordenada X de la posición real del dispositivo.
- Media en Y del error: Media muestral de la diferencia (en valor absoluto) de la medición en la coordenada Y y la coordenada Y de la posición real del dispositivo.
- Desviación típica en X del error: Desviación típica de la diferencia (en valor absoluto) de cada una de las mediciones en la coordenada X y la coordenada X de la posición real del dispositivo.
- Desviación típica en Y del error: Desviación típica de la diferencia (en valor absoluto) de cada una de las mediciones en la coordenada Y y la coordenada Y de la posición real del dispositivo.
- Varianza en X del error: Varianza de la diferencia (en valor absoluto) de cada una de las mediciones en la coordenada X y la coordenada X de la posición real del dispositivo.
- Varianza en Y del error: Varianza de la diferencia (en valor absoluto) de cada una de las mediciones en la coordenada Y y la coordenada Y de la posición real del dispositivo.

Aruba 2400

- Distancia media del error: Media muestral de la distancia bidimensional entre la posición real del dispositivo y cada una de las mediciones.
- Desviación típica de la distancia del error: Desviación típica de la distancia bidimensional entre la posición real del dispositivo y cada una de las mediciones.
- Varianza del error: Varianza de la distancia bidimensional entre la posición real del dispositivo y cada una de las mediciones.

Todos los datos recogidos en la tabla se encuentran expresados en metros, ya que pese a que el sistema trabaja en pies, el programa Java que realiza la medición (Anexo A: Programa de Medición) los convierte automáticamente.

En la siguiente tabla podemos observar un ejemplo de medición con los datos explicados en este punto:

Medición	Coordenada X = 23.77	Coordenada Y = 7.32	Error en X	Error en Y	Desviación Típica en X	Desviación Típica en Y	Distancia Error
1	27.7368	10.3632	-3.9624	-3.048	3.97764091	0.13716023	4.99909169
2	17.6784	8.5344	6.096	-1.2192	6.08075909	1.6916397	6.21672459
3	23.1648	14.0208	0.6096	-6.7056	0.59435909	3.79476031	6.73325208
4	18.5928	10.0584	5.1816	-2.7432	5.16635909	0.16763977	5.86294506
5	23.4696	6.096	0.3048	1.2192	0.28955907	4.1300397	1.2567226
6	24.9936	11.2776	-1.2192	-3.9624	1.23444091	1.05156024	4.14572821
7	24.384	10.9728	-0.6096	-3.6576	0.62484091	0.74676024	3.70805204
8	25.2984	10.9728	-1.524	-3.6576	1.53924091	0.74676024	3.9624
9	27.7368	11.2776	-3.9624	-3.9624	3.97764091	1.05156024	5.60367982
10	23.4696	9.7536	0.3048	-2.4384	0.28955907	0.47243976	2.45737616
11	23.7744	10.3632	0	-3.048	0.01524093	0.13716023	3.048
12	26.8224	7.9248	-3.048	-0.6096	3.06324091	2.3012397	3.1083623
13	22.86	10.0584	0.9144	-2.7432	0.89915909	0.16763977	2.89158669
14	25.2984	7.62	-1.524	-0.3048	1.53924091	2.6060397	1.55418115
15	22.86	9.7536	0.9144	-2.4384	0.89915909	0.47243976	2.60421234
16	23.1648	9.7536	0.6096	-2.4384	0.59435909	0.47243976	2.51344519
17	22.5552	9.7536	1.2192	-2.4384	1.20395909	0.47243976	2.72621408
18	22.2504	12.4968	1.524	-5.1816	1.50875909	2.27076031	5.40106976
19	24.6888	11.2776	-0.9144	-3.9624	0.92964091	1.05156024	4.06653921
20	24.384	12.192	-0.6096	-4.8768	0.62484091	1.96596031	4.91475232
Posición real en X	Posición real en Y						
23.7744	7.3152						
Media en X de las Mediciones Aruba							
23.75916	10.22604						

Desviación típica en X de las mediciones	Desviación típica en Y de las mediciones
1.7526	1.2954
Varianza en X de las mediciones	Varianza en Y de las mediciones
10.07745	5.50545
Media en X del error	Media en Y del error
1.7526	3.03276
Desviación típica en X del error	Desviación típica en Y del error
1.73736	1.560576
Varianza en X del error	Varianza en Y del error
9.902952	7.988808
Distancia media del error	
3.8887168	
Desviación típica de la distancia del error	
1.5675536	
Varianza de la distancia del error	
2.4572244	

TABLA 13: DATOS DE MEDICIÓN

Por tanto obtenemos para cada posición una tabla como la mostrada anteriormente con todos los datos necesarios para el posterior análisis de la medición obtenida.

Además de estos datos, hemos configurado el programa para guardar una copia de seguridad de todos los documentos XML obtenidos por el sistema para realizar cada una de las mediciones. En estos documentos, además de los datos de la posición de cada una de las mediciones, podemos encontrar datos que pudieran ser de utilidad como el número de paquetes con el que se realizó la media del RSSI para cada una de las antenas, el número de antenas que intervinieron en la localización así como cada una de sus posiciones, etc.

En la siguiente imagen podemos observar un ejemplo de fichero XML almacenado por el programa de medición:

aruba	OK
sta	
mac	00:10:c6:43:54:fe
type	1
ssid	GIAA-LAB
ch	1238085843
u	
st	false
t	0
probe	
loc	16842753
mac	00:0b:86:2a:e6:20
ip	10.1.10.253
type	1
phy	802.11g
t	1238085937
x	64
y	23
name	AP: 1.1 (Puerta)
ap_type	61
probe	
probe	
probe	
probe	
probe	
probe	
spot	
mac	00:10:c6:43:54:fe
cid	1
bid	1
fid	1
x	91
y	34
v	44.0
c	0.0
contour	55,1,-6,-62,46,28,35,-56,67,-5,-63,-11,-50,39,19,69,11
stats	
stats	
stats	
stats	
stats	
stats	

IMAGEN 41: FICHERO XML LOCALIZACIÓN

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Una vez obtenidos los resultados en la tabla Excel, debemos proceder a su estudio y análisis.

Para ello es conveniente conseguir una buena visualización de los mismos, para lo cual hemos utilizado el programa (de libre distribución) GeoGebra. Gracias al cual podemos situar de manera gráfica cada uno de los puntos obtenidos en la medición, así como la posición real del objeto.

En la siguiente imagen se muestra un ejemplo en el que se han situado en la imagen para su correcta visualización el plano del edificio, cada uno de los puntos de acceso, la posición real del dispositivo, y la posición media calculada por el sistema de localización:

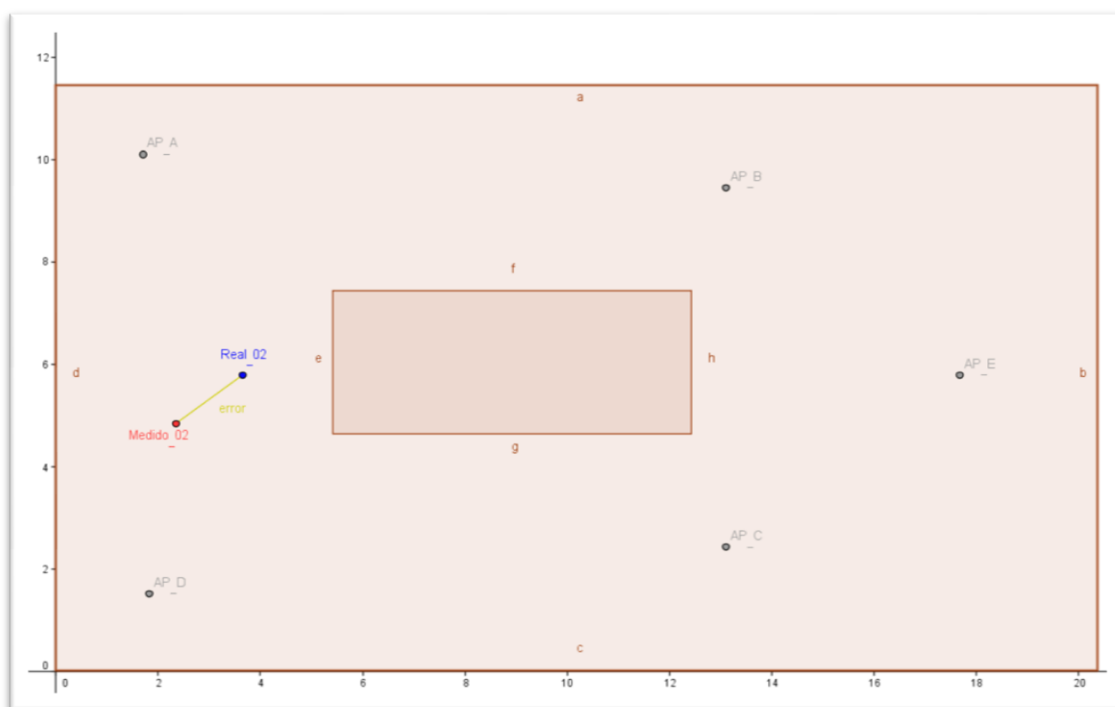


IMAGEN 42: EJEMPLO VISUALIZACIÓN GEOGEBRA

Para el análisis de los resultados afrontaremos dos frentes principales. Por un lado la precisión de la medición, es decir, el vector definido entre el punto medio calculado y la posición real. Por otro lado afrontaremos el estudio estadístico de las mediciones obtenidas, centrándonos en observar la desviación típica de los valores, así como el área descrita por todas las mediciones.

Llegados a este punto es importante destacar que la desviación típica de los datos obtenidos no es la desviación típica de los valores calculados en cada instante por el sistema. Tal y como se ha explicado previamente, el valor que se obtiene al realizar una petición de localización corresponde a la media calculada con un número determinado de datos (tantos como paquetes transmitidos entre el dispositivo y el punto de acceso). Por tanto, se puede demostrar matemáticamente que la media de varias de estas medidas sí corresponde con la media, pero que la desviación típica no tiene por qué ser la misma.

Suponiendo n mediciones $(x_a, x_b, x_c \dots x_n)$, de m mediciones cada una, tenemos que:

La media de cada una de estas mediciones será:

$$\bar{x}_a = \frac{\sum_{i=1}^m a_i}{m}$$

$$\bar{x}_b = \frac{\sum_{i=1}^m b_i}{m}$$

⋮

$$\bar{x}_n = \frac{\sum_{i=1}^m n_i}{m}$$

Por tanto, la media de todas las mediciones será:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{x}_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{x}_a + \bar{x}_b + \dots + \bar{x}_n}{m \cdot n} = \frac{\text{suma de toda las mediciones realizadas}}{\text{número de mediciones realizadas}}$$

Demostrándose así que la media de varios resultados (que a su vez son la media de diferentes mediciones) es la media de todas las mediciones realizadas.

Por desgracia, no ocurre lo mismo con la desviación típica ni con la varianza, por lo que las mostradas en el presente documento son tan sólo una estimación de la desviación típica y la varianza reales.

CONCLUSIONES

Por tanto, tal y como se ha explicado anteriormente, los pasos a seguir para realizar cada uno de los experimentos en los diferentes entornos han sido los siguientes:

- Creación del plan en el sistema Aruba
- Replanteo físico en el entorno seleccionado
- Instalación del sistema (puntos de acceso, etc.)
- Medición de diferentes posiciones
- Análisis de los datos

ENTORNO 1: GIAA Y PASILLO

LOCALIZACIÓN

Tal y como se describió anteriormente, todos los entornos seleccionados para este trabajo se encuentran en el campus de Colmenarejo de la universidad Carlos III de Madrid.

El primer entorno consiste en la composición de dos salas contiguas de la segunda planta del edificio Miguel de Unamuno. El laboratorio de investigación del grupo de inteligencia artificial aplicada (GIAA), con el código 1.1. A15. Y el pasillo de acceso al mismo, en su primera sección ("A"), desde las escaleras más cercanas a la puerta principal hasta las escaleras situadas en mitad del edificio.

Este entorno nos ofrece la posibilidad de comprobar el comportamiento del sistema al introducirse un plan compuesto por salas diferentes. Lo que puede tener gran utilidad si, por ejemplo, tratásemos de averiguar mediante la localización en cuál de las salas se encuentra el dispositivo.

En la siguiente imagen podemos observar los planos utilizados para la posterior creación del plan en el sistema, el pasillo y el laboratorio del GIAA aparecen sombreados:



IMAGEN 43: PLANOS DEL PASILLO Y GIAA

CREACIÓN DEL PLAN

Para la creación del plan del segundo entorno hemos contando con los planos de la universidad, de los cuales hemos obtenido la siguiente imagen que hemos tomado como referencia para introducir los datos en el sistema Aruba:

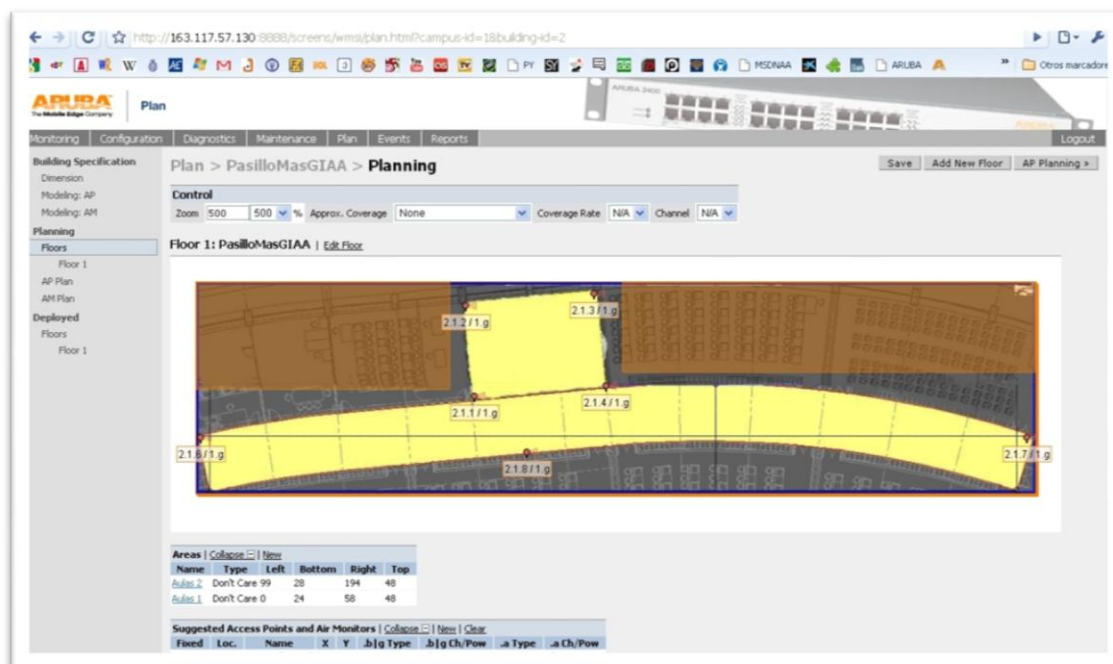


IMAGEN 44: PLAN PASILLO Y GIAA

En la imagen podemos observar la configuración de antenas escogida. El entorno se encuentra dividido en dos estancias diferentes, el laboratorio del GIAA y el pasillo. Para el laboratorio se ha optado por colocar una antena en cada una de las cuatro esquinas de la habitación, obteniendo una cobertura optima para la triangulación, además, se ha dispuesto una quinta antena en un punto central, para aumentar los datos y mejorar los resultados.

Para la cobertura del pasillo nos encontramos ante una situación difícil de resolver, ya que es una estancia con unas coordenadas muy desproporcionadas, y es, por tanto, imposible conseguir una cobertura optima para realizar la triangulación. No obstante, se ha optado por situar una antena en cada extremo del pasillo (tratando así de obtener unos

buenos resultados en la coordenada X) y se ha añadido una tercera antena en la mitad del pasillo, pegada a la pared que masifica la distancia con las antenas del laboratorio.

Es importante destacar, que pese a ser dos estancias diferenciadas, se han realizado las mediciones correspondientes a un único plan, por lo que cuando el dispositivo a localizar se encuentra en el pasillo (por ejemplo) tanto las antenas del pasillo como las del laboratorio aportan datos para proceder a la triangulación.

REPLANTEO

Para la realización del replanteo en este primer entorno se ha optado por dos alternativas diferentes para cada una de las dos estancias: Laboratorio y pasillo.

Para el laboratorio se procedió de la siguiente manera:

Primero se situó en el plan los puntos correspondientes a las antenas de las esquinas, partido de los planos de que se disponía. Una vez situados esos cuatro puntos, para replantear uno nuevo se medía la distancia de éste a cada una de las cuatro antenas, y mediante el programa GeoGebra se calculaba la posición. En la siguiente imagen podemos observar un ejemplo ilustrativo:

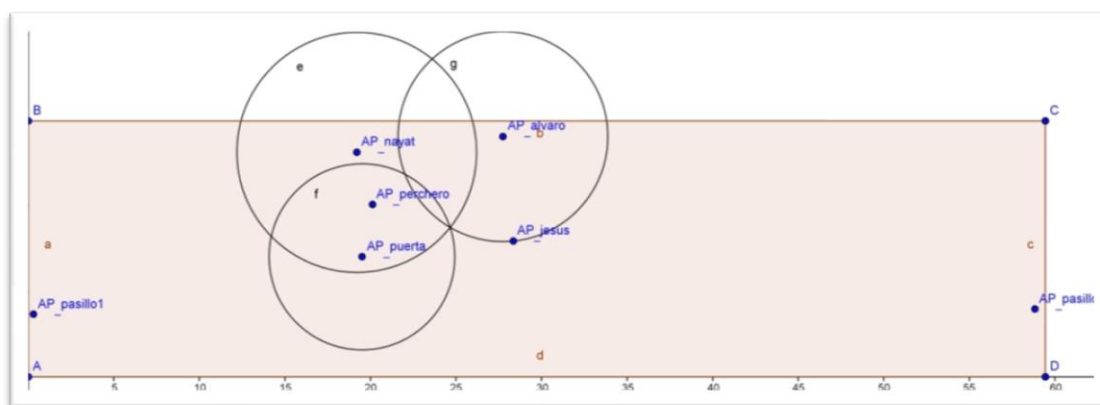


IMAGEN 45: REPLANTEO DE UNA POSICIÓN

Por el contrario, para el replanteo de las posiciones en el pasillo, hubo que proceder de diferente manera:

En primer lugar se trazo un eje imaginario y paralelo al eje X del plan, que pasaba por las dos antenas instaladas en el pasillo, tal y como ilustra la siguiente figura:



IMAGEN 46: EJE IMAGINARIO DEL PASILLO

Dicho eje (trazado con una cinta) es marcado en el suelo del pasillo y sirve de referencia para calcular las coordenadas de cualquier punto.

Es importante recordar que en el sistema Aruba el eje X debe coincidir con la base del rectángulo establecido en el plan, por lo que debe calcularse el desplazamiento existente entre el eje creado y la base del rectángulo.

INSTALACIÓN DEL SISTEMA

Para la localización en el primer entorno se ha dispuesto de ocho antenas situadas cinco dentro del laboratorio del grupo GIAA y tres en el pasillo.

Tal y como se comento en el apartado anterior, cuatro de las antenas del laboratorio se encuentran en las esquinas del mismo, consiguiendo así una cobertura adecuada de la estancia para la localización.

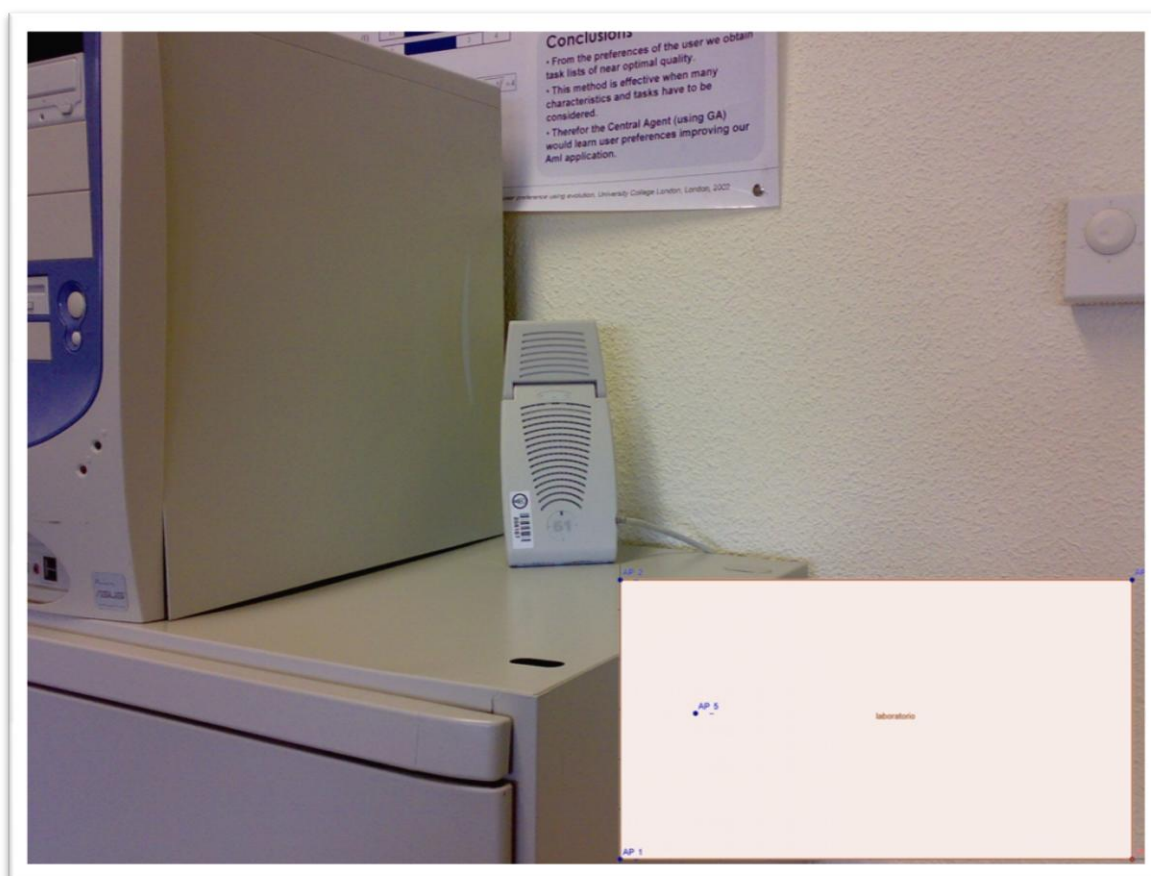


IMAGEN 47: ANTENA DEL LABORATORIO

La quinta antena del laboratorio se ha situado en un punto intermedio cercano a la pared del lado izquierdo, mejorando así la cantidad de datos disponibles para la localización.



IMAGEN 48: QUINTA ANTENA DEL LABORATORIO

Para la localización en el pasillo se dispone de dos antenas instaladas en cada uno de los extremos. Dichas antenas se encuentran conectadas al sistema Aruba mediante la red local de la universidad (y no de manera directa a alguno de los puertos).



IMAGEN 49: ANTENA INSTALADA EN EL PASILLO

Además de las dos antenas instaladas en el pasillo, y de las ya situadas en el laboratorio, se ha situado una tercera antena en un punto medio del pasillo, para tratar de mejorar la localización en esta estancia.

Es importante recordar que es muy difícil lograr una correcta localización en el eje Y (el correspondiente a la anchura del pasillo) debido a la forma del pasillo, que se asemeja a una línea (de una sola dimensión) en vez de a un plano. La siguiente imagen ilustra esta situación:

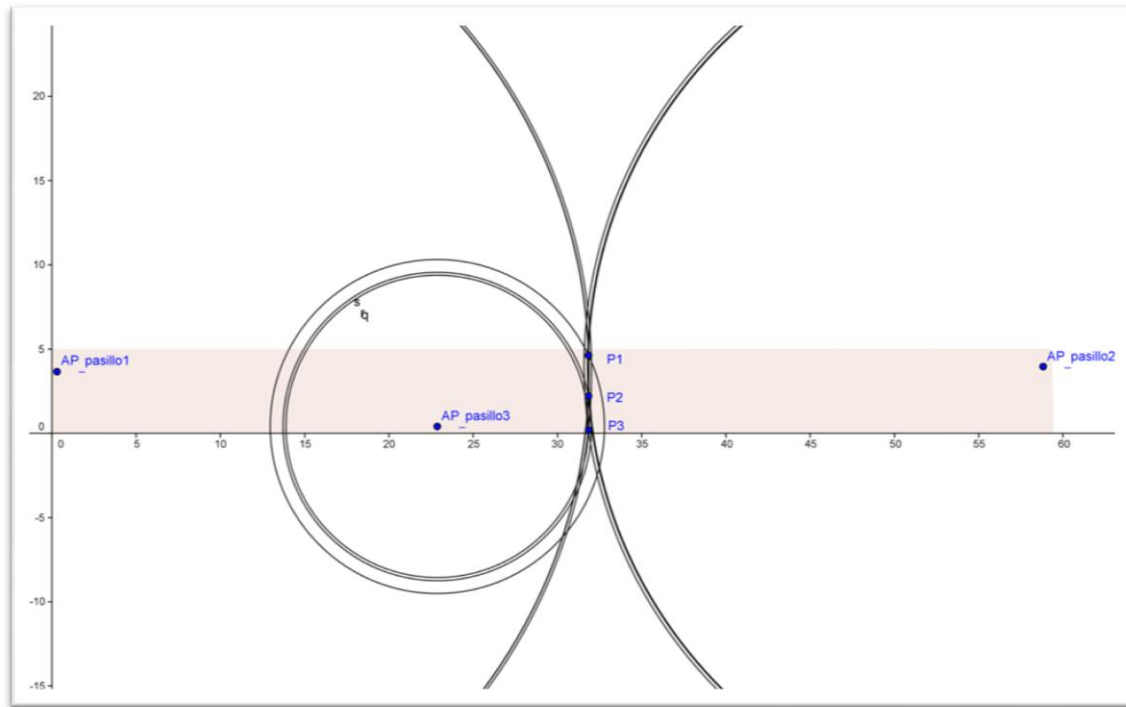


IMAGEN 50: EJEMPLO DE MALA LOCALIZACIÓN

En la imagen podemos observar tres antenas etiquetadas con los nombres AP_pasillo1, AP_pasillo2 y AP_pasillo3. También observamos tres puntos que tratamos de localizar, con misma coordenada X pero diferente coordenada Y, etiquetados como: P1, P2 y P3. Se han trazado circunferencias desde cada una de las antenas hasta cada uno de los puntos a localizar, representando la medida que obtienen para realizar la localización (el RSSI o intensidad de la señal). Pero tal y como se observa en la imagen, las tres circunferencias de cada antena para cada punto son prácticamente similares, por lo que no se dispone de datos suficientes para realizar la localización en ese eje.

MEDICIÓN

Como ya se comento en los apartados anteriores se han realizado la medición de diez posiciones diferentes, seis en el laboratorio y cuatro en el pasillo.

A fin de poder realizar una correcta exposición de los datos, se presenta un conjunto de tablas resumen con las variables más significativas para cada una de las posición localizadas.

Posición	Posición Real		Media Localización Aruba		Varianza Localización Aruba	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
1	23.77 m	7.32 m	23.76 m	10.23 m	5.94 m	3.04 m
2	22.86 m	7.92 m	23.23 m	11.22 m	1.26 m	3.31 m
3	27.90 m	11.96 m	27.04 m	9.48 m	1.90 m	2.02 m
4	24.94 m	11.28 m	22.24 m	9.68 m	2.75 m	3.06 m
5	21.71 m	7.30 m	20.27 m	7.21 m	0.78 m	0.83 m
6	23.38 m	9.48 m	23.06 m	12.44 m	1.61 m	0.70 m
7	14.81 m	3.66 m	8.17 m	6.19 m	17.20 m	14.01 m
8	28.47 m	3.66 m	26.78 m	5.11 m	5.96 m	5.12 m

Aruba 2400

9	42.87 m	3.66 m	25.25 m	6.04 m	39.48 m	46.42 m
10	57.03 m	3.66 m	49.53 m	1.63 m	39.48 m	46.42 m

TABLA 14: LOCALIZACIÓN EN EL PRIMER ENTORNO

Tal y como podemos observar, en la tabla se muestra una clara diferencia entre la estabilidad de los datos obtenidos en cada una de las dos estancias. Las primeras siete medidas corresponden a posiciones dentro del laboratorio, que cuenta con una cobertura y disposición óptima de las antenas, mientras que en las cuatro últimas medidas podemos observar como la varianza se dispara de forma considerable, por los motivos ya explicados relacionados con la geometría del pasillo.

Concretamente en las posiciones nueve y diez, observamos varianzas entorno a los 40 - 45 metros, lo que corresponde con desviaciones típicas cercanas a los 6 - 7 metros. Esto significa que la medida de una posición típicamente oscila entre esos 6 - 7 metros hacia arriba o hacia abajo, por lo que el área previsible descrita por el conjunto de varias mediciones correspondería con aproximadamente 40 metros cuadrados. Lo cual puede resultar excesivo en muchas aplicaciones.

Posición	Posición Real		Media del Error		Varianza del Error	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
1	23.77 m	7.32 m	0.01 m	-2.91 m	6.09 m	3.19 m
2	22.86 m	7.92 m	-0.37 m	-3.29 m	1.26 m	3.09 m
3	27.90 m	11.96 m	0.87 m	2.48 m	1.90 m	1.27 m
4	24.94 m	11.28 m	2.70 m	1.60 m	2.75 m	2.17 m
5	21.71 m	7.30 m	1.44 m	0.09 m	0.78 m	0.65 m
6	23.38 m	9.48 m	0.32 m	-2.96 m	1.61 m	0.35 m
7	14.81 m	3.66 m	6.64 m	9.85 m	17.20 m	3.81 m
8	28.47 m	3.66 m	1.69 m	-1.45 m	5.96 m	2.47 m
9	42.87 m	3.66 m	17.62 m	1.49 m	39.48 m	39.80 m
10	57.03 m	3.66 m	17.62 m	1.49 m	39.48 m	39.80 m

TABLA 15: MEDIDA DEL ERROR EN EL PRIMER ENTORNO

En la tabla anterior podemos observar de nuevo como las medidas correspondientes a las posiciones del pasillo tienen errores y varianzas del error más elevados.

Además, podemos observar que en estas medidas el error cometido en el eje X (el longitudinal del pasillo) es mayor que el cometido en el eje Y. Esto, en principio, supondría una contradicción a lo explicado anteriormente sobre la dificultad de localizar en el eje Y (el transversal al pasillo). La explicación a esta incongruencia la encontramos en la magnitud total de las coordenadas, ya que el eje X es mucho más grande que el eje Y, por lo que es normal que en él se produzcan errores mayores.

Posición	Posición Real		Media Localización Aruba		Distancia media del Error	Varianza del Error
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y		
1	23.77 m	7.32 m	23.76 m	10.23 m	3.89 m	2.46 m
2	22.86 m	7.92 m	23.23 m	11.22 m	3.53 m	3.09 m
3	27.90 m	11.96 m	27.04 m	9.48 m	3.09 m	1.27 m
4	24.94 m	11.28 m	22.24 m	9.68 m	3.67 m	2.17 m
5	21.71 m	7.30 m	20.27 m	7.21 m	1.74 m	0.65 m

Aruba 2400

6	23.38 m	9.48 m	23.06 m	12.44 m	3.29 m	0.35 m
7	14.81 m	3.66 m	8.17 m	6.19 m	12.98 m	3.81 m
8	28.47 m	3.66 m	26.78 m	5.11 m	3.68 m	2.47 m
9	42.87 m	3.66 m	25.25 m	6.04 m	18.94 m	39.80 m
10	57.03 m	3.66 m	49.53 m	1.63 m	18.94 m	39.80 m

TABLA 16: DISTANCIA MEDIA DEL ERROR EN EL PRIMER ENTORNO

En esta última tabla resumen de los datos obtenidos en el primer entorno podemos observar la posición real de la PDA, la posición media calculada por el sistema Aruba, la distancia entre ambas posiciones y la varianza de esta distancia.

En ella de nuevo comprobamos como el error cometido en las seis primeras medidas, correspondientes al laboratorio, tienen una mayor precisión, mientras que las cuatro últimas, correspondientes al pasillo, se dispara la distancia del error a 10-20 metros aproximadamente.

También es destacable que en las primeras medidas, con una cobertura y geometría óptimas, el error parece estabilizarse en torno a los 3-4 metros.

CONCLUSIONES

Hemos observado las medidas producidas en un entorno mixto, compuesto por dos instancias con dos geometrías muy distintas (laboratorio y pasillo), y hemos comprobado como esto afecta claramente a la precisión de la localización.

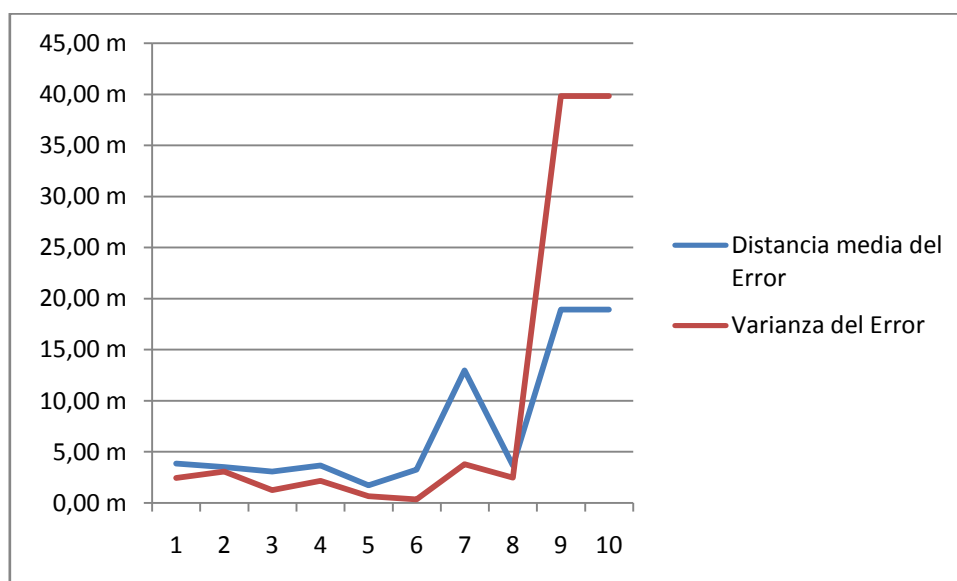


GRÁFICO 5: DISTANCIA DEL ERROR EN EL PRIMER ENTORNO

También hemos comprobado como el error producido en una estancia rectangular con una buena cobertura se estabilizaba alrededor de 3-4 metros, con una varianza entre 2-3 metros.

Otro de los interrogantes planteados en el primer entorno consistía en comprobar si el sistema serviría para diferenciar cuando el dispositivo se encontraba en el pasillo y cuando en el laboratorio. Tras realizar las mediciones podemos concluir que sí, ya que todas las mediciones correspondientes al laboratorio han caído (con mayor o menor pre-

cisión) dentro del laboratorio, y todas las mediciones del pasillo han caído dentro del pasillo.

ENTORNO 2: ATRIO

LOCALIZACIÓN

Tal y como se describió anteriormente, todos los entornos seleccionados para este trabajo se encuentran en el campus de Colmenarejo de la universidad Carlos III de Madrid.

El segundo entorno consiste en el atrio de las escaleras centrales del segundo piso del edificio Miguel de Unamuno.

Este entorno nos ofrece la posibilidad de comprobar el comportamiento del sistema en una estancia de dimensiones reducidas, y con una geometría muy particular.

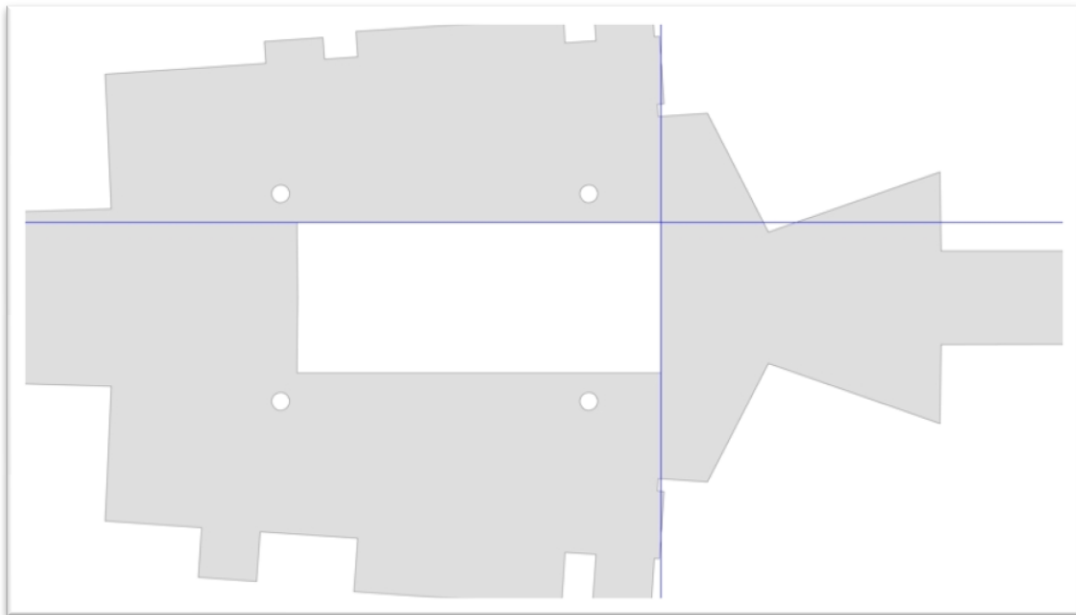


IMAGEN 51: GEOMETRÍA DEL SEGUNDO ENTORNO

En la siguiente imagen podemos observar los planos utilizados para la posterior creación del plan en el sistema, el pasillo y el laboratorio del GIAA aparecen sombreados:



IMAGEN 52: PLANOS DEL ATRIO

CREACIÓN DEL PLAN

Para la creación del plan del primer entorno hemos contado con los planos de la universidad, de los cuales hemos obtenido la siguiente imagen que hemos tomado como referencia para introducir los datos en el sistema Aruba:

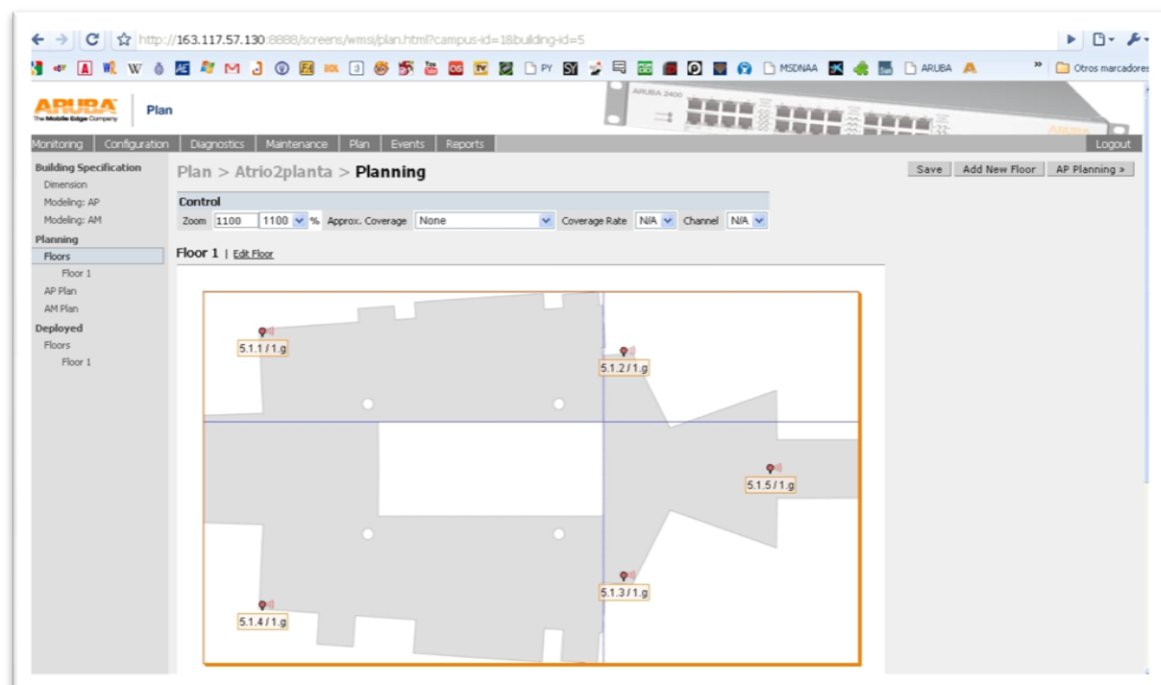


IMAGEN 53 PLAN ATRIO

En la imagen podemos observar la configuración de antenas escogida. Dado que nos encontrábamos ante un entorno con una sola estancia, hemos tratado de crear una confi-

guración de las antenas optima para la localización, colocando cinco antenas cercanas al perímetro de la habitación.

REPLANTEO

Para la realización del replanteo en este segundo entorno se ha optado por crear dos ejes imaginarios X', e Y'.

Estos ejes (representados por la línea azul) se situarían en función del hueco de las escaleras presentes en el centro de la estancia, tal y como se muestra en la siguiente imagen:



IMAGEN 54: EJES IMAGINARIOS DEL SEGUNDO ENTORNO

Una vez creados y acotados estos ejes, el replanteo de cualquier punto se realizaba de manera sencilla midiendo la distancia a cada uno de ellos tomando como referencia el hueco de la escalera.

Es importante recordar que en el sistema Aruba el eje X debe coincidir con la base del rectángulo establecido en el plan, por lo que debe calcularse el desplazamiento existente entre los ejes creados y los correspondientes al rectángulo introducido en el sistema.

INSTALACIÓN DEL SISTEMA

Para la localización en el segundo entorno se ha dispuesto de cinco antenas situadas en el perímetro de la estancia, a excepción de una que se centro un poco más, para poder realizar alguna medición de un dispositivo que no se encontrara dentro del área comprendida entre las antenas. La siguiente imagen muestra dicha medición:



IMAGEN 55: FOTO DISPOSITIVO SITUADO FUERA DEL ÁREA DE LAS ANTENAS

Tal y como muestra la imagen el dispositivo se encuentra fuera del área comprendida por la antenas (por eso se observa la antena mirando en sentido contrario). La siguiente imagen ilustra el plano de la situación:

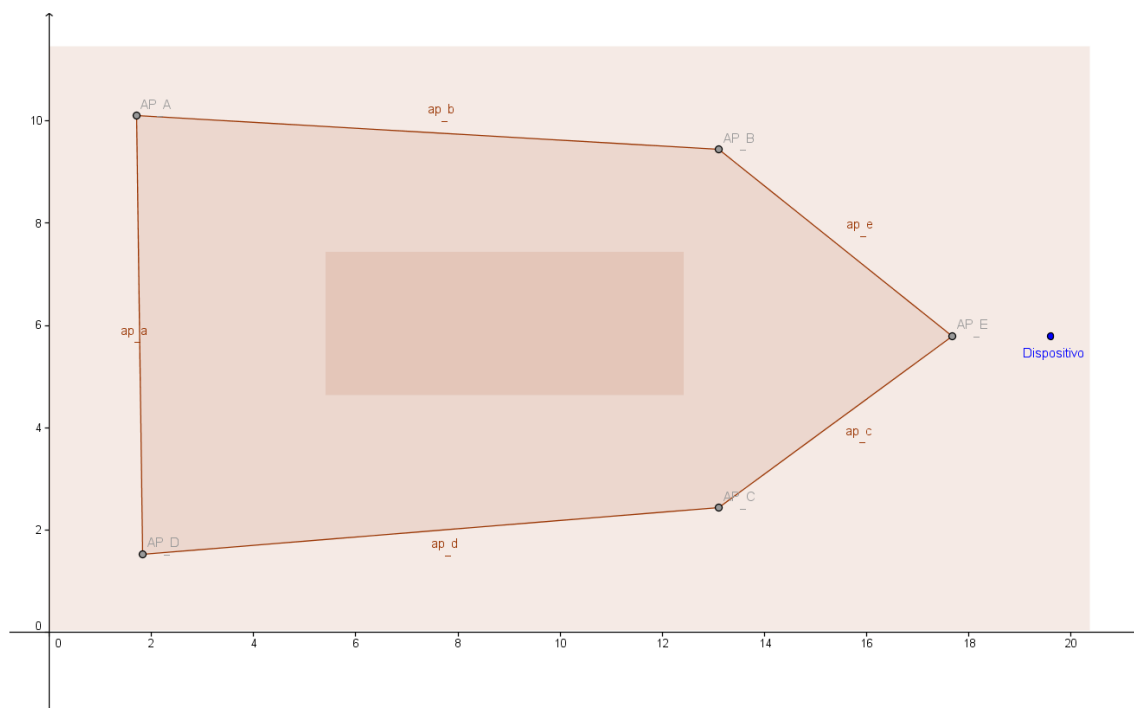


IMAGEN 56: PLANO DISPOSITIVO SITUADO FUERA DEL ÁREA DE LAS ANTENAS

El resto de antenas sí se han situado cerca del perímetro para obtener una buena cobertura de toda la sala.

Para realizar el despliegue de este entorno no se ha podido contar con la red de la universidad a la hora de conectar las antenas, por lo que todas se encontraban directamente conectadas a los puertos del Aruba, las siguientes imágenes ilustran el despliegue realizado:



IMAGEN 57: DESPLIEGUE SEGUNDO ENTORNO (1)



IMAGEN 58: DESPLIEGUE SEGUNDO ENTORNO (2)

MEDICIÓN

En este segundo entorno hemos realizado mediciones en cinco posiciones características.

A fin de poder realizar una correcta exposición de los datos, se presenta un conjunto de tablas resumen con las variables más significativas para cada una de las posiciones localizadas.

Posición	Posición Real		Media Localización Aruba		Varianza Localización Aruba	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
1	10.93 m	8.54 m	5.61 m	4.95 m	3.12 m	2.22 m
2	3.65 m	5.79 m	2.35 m	4.85 m	8.05 m	3.34 m
3	8.55 m	2.64 m	6.51 m	4.51 m	0.36 m	0.74 m
4	13.83 m	5.79 m	14.84 m	2.15 m	1.52 m	1.45 m
5	19.60 m	5.79 m	18.29 m	4.95 m	1.22 m	4.46 m

TABLA 17: LOCALIZACIÓN EN EL SEGUNDO ENTORNO

Tal y como podemos observar, en la tabla se muestra que la estabilidad de las mediciones se corresponde con una varianza en torno a 3 metros cuadrados, a excepción de la segunda medición en el eje X.

Posición	Posición Real		Media del Error		Varianza del Error	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
1	10.93 m	8.54 m	5.32 m	3.59 m	1.31 m	1.02 m
2	3.65 m	5.79 m	2.31 m	1.19 m	5.32 m	1.40 m
3	8.55 m	2.64 m	2.04 m	1.87 m	0.36 m	0.33 m
4	13.83 m	5.79 m	1.17 m	3.64 m	0.71 m	0.84 m
5	19.60 m	5.79 m	1.36 m	1.30 m	0.66 m	2.24 m

TABLA 18: MEDIDA DEL ERROR EN EL SEGUNDO ENTORNO

En la tabla anterior observamos que el error cometido por el sistema en la localización oscila típicamente entre los 2-3 metros en cada eje.

Además observamos que la varianza del error cometido se mantiene acotada en aproximadamente dos metros, a excepción tan solo de una de las mediciones que asciende a cinco metros.

Posición	Posición Real		Media Localización Aruba		Distancia media del Error	Varianza del Error
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y		
1	10.93 m	8.54 m	5.61 m	4.95 m	6.49 m	1.31 m
2	3.65 m	5.79 m	2.35 m	4.85 m	2.70 m	2.03 m
3	8.55 m	2.64 m	6.51 m	4.51 m	2.79 m	0.41 m
4	13.83 m	5.79 m	14.84 m	2.15 m	3.85 m	1.00 m
5	19.60 m	5.79 m	18.29 m	4.95 m	2.12 m	0.81 m

TABLA 19: DISTANCIA MEDIA DEL ERROR EN EL SEGUNDO ENTORNO

En esta última tabla resumen de los datos obtenidos en el segundo entorno podemos observar la posición real de la PDA, la posición media calculada por el sistema Aruba, la distancia entre ambas posiciones y la varianza de esta distancia.

En ella percibimos como el error en distancia (bidimensional) es típicamente cercano a tres metros, a excepción de lo ocurrido en la primera medición. Lo cual podría ser suficientemente preciso en algunas situaciones. También observamos que la varianza se encuentra bien acotada en dos metros, por lo que el error es bastante estable.

Además se observa que el error cometido en la última medición no es mayor que el cometido en las mediciones anteriores, este dato es importante ya que como se comentó en apartados anteriores esta medición se realizó en el dispositivo fuera del área comprendida entre las antenas.

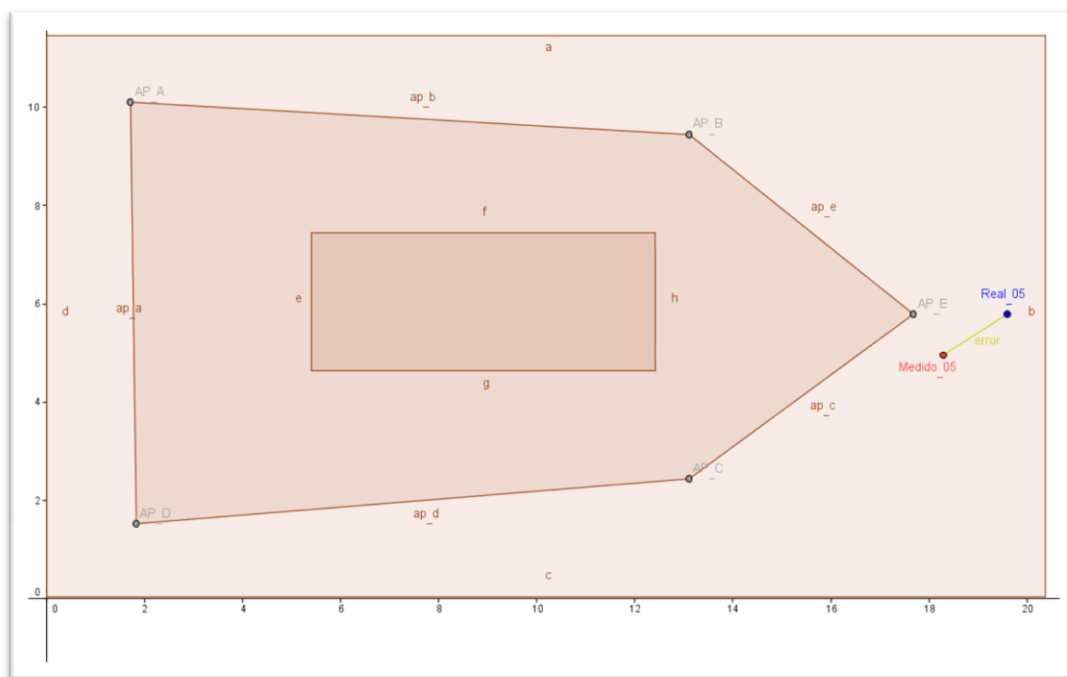


IMAGEN 59: ERROR DE LA QUINTA MEDICIÓN SEGUNDO ENTORNO

CONCLUSIONES

Hemos observado que en este segundo entorno los errores cometidos (en distancia bidimensional) oscilan alrededor de los tres metros, con varianzas cercanas a uno o dos metros cuadrados.

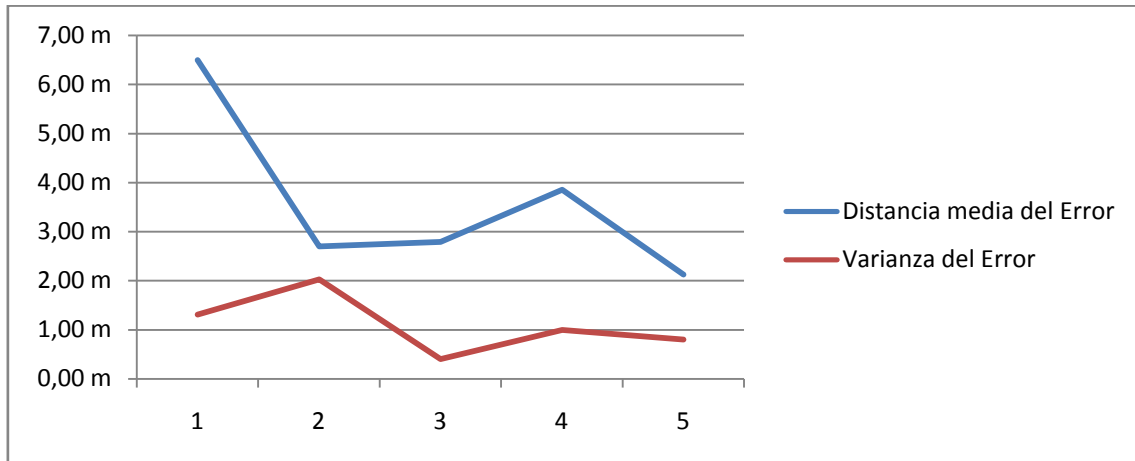


GRÁFICO 6: DISTANCIA DEL ERROR EN EL SEGUNDO ENTORNO

También hemos comprobado que las medidas realizadas sobre un dispositivo colocado fuera del área descrita por las antenas no tienen por qué ser menos precisa, si bien no es un caso ideal.

ENTORNO 3: SALA DE JUNTAS

LOCALIZACIÓN

Tal y como se describió anteriormente, todos los entornos seleccionados para este trabajo se encuentran en el campus de Colmenarejo de la universidad Carlos III de Madrid.

El tercer entorno consiste en la sala de juntas del primer piso del edificio Menéndez Pidal.

Este entorno nos ofrece la posibilidad de comprobar el comportamiento del sistema en una estancia de geometría circular.

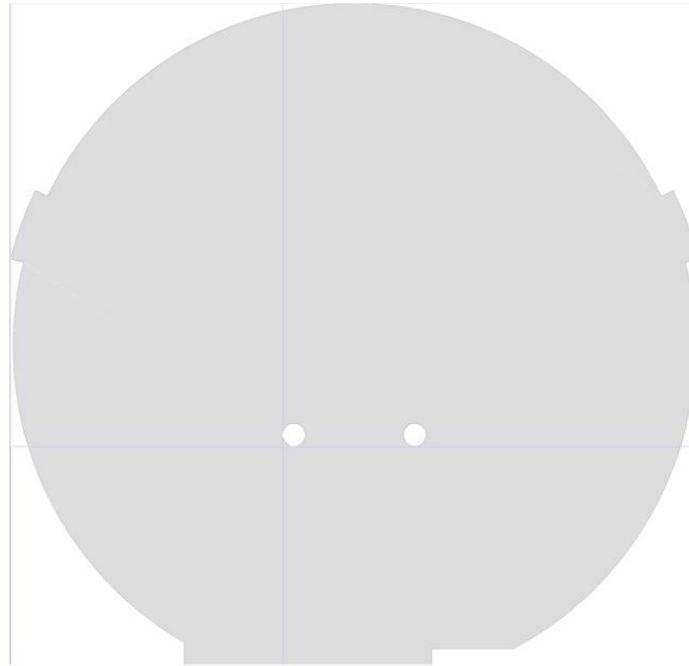


IMAGEN 60: GEOMETRÍA DEL TERCER ENTORNO

CREACIÓN DEL PLAN

Para la creación del plan del tercer entorno hemos contado con los planos de la universidad, de los cuales hemos obtenido la siguiente imagen que hemos tomado como referencia para introducir los datos en el sistema Aruba:

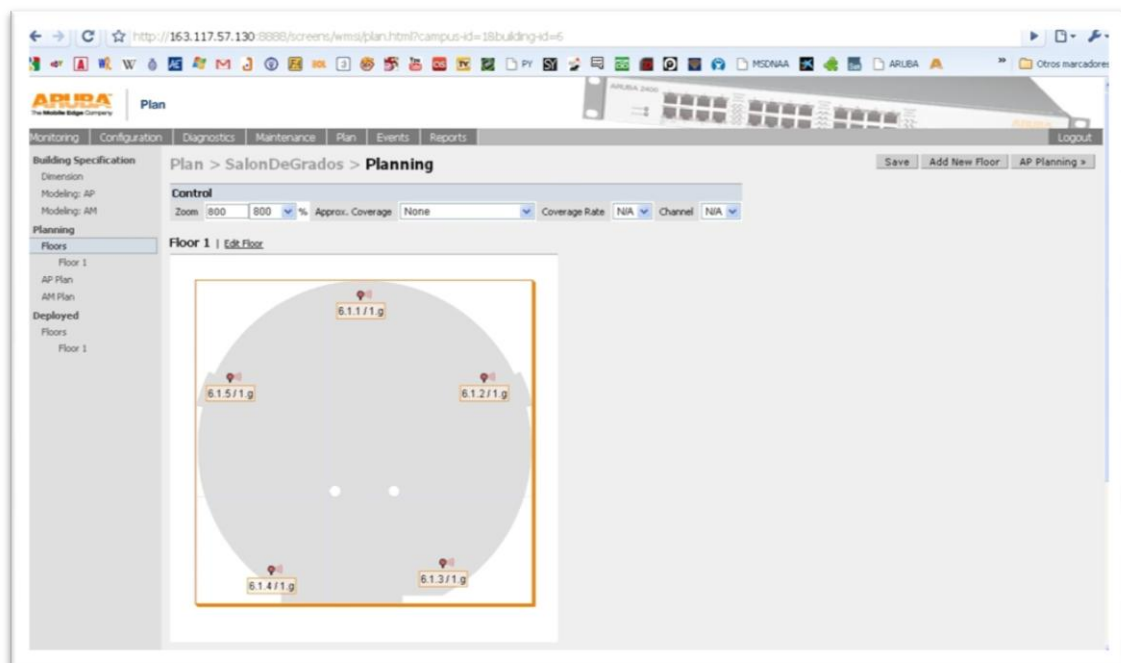


IMAGEN 61: PLAN SALA DE JUNTAS

En la imagen podemos observar la configuración de antenas escogida. Dado que nos encontrábamos ante un entorno con una sola estancia, hemos tratado de crear una confi-

guración de las antenas optima para la localización, colocando cinco antenas cercanas al perímetro de la habitación.

REPLANTEO

La realización del replanteo en este tercer entorno suponía un problema interesante ya que permitía llevar a cabo diferentes estrategias y se debía escoger la más oportuna.

Dado que se trata de un entorno circular, cabía la posibilidad de haber trabajado con coordenadas polares, pero finalmente esta idea se descarto por la dificultad de medir ángulos en el terreno y la obligada transformación que habría que hacer para introducir los datos en el sistema.

Finalmente se opto por el sistema de dos ejes imaginarios utilizado en anteriores entornos. Para ello se conto con la ayuda de las dos columnas presentes en la sala, utilizándolas como guía para crear los ejes.

En la siguiente imagen se muestra los planos resultantes de dibujar los ejes:

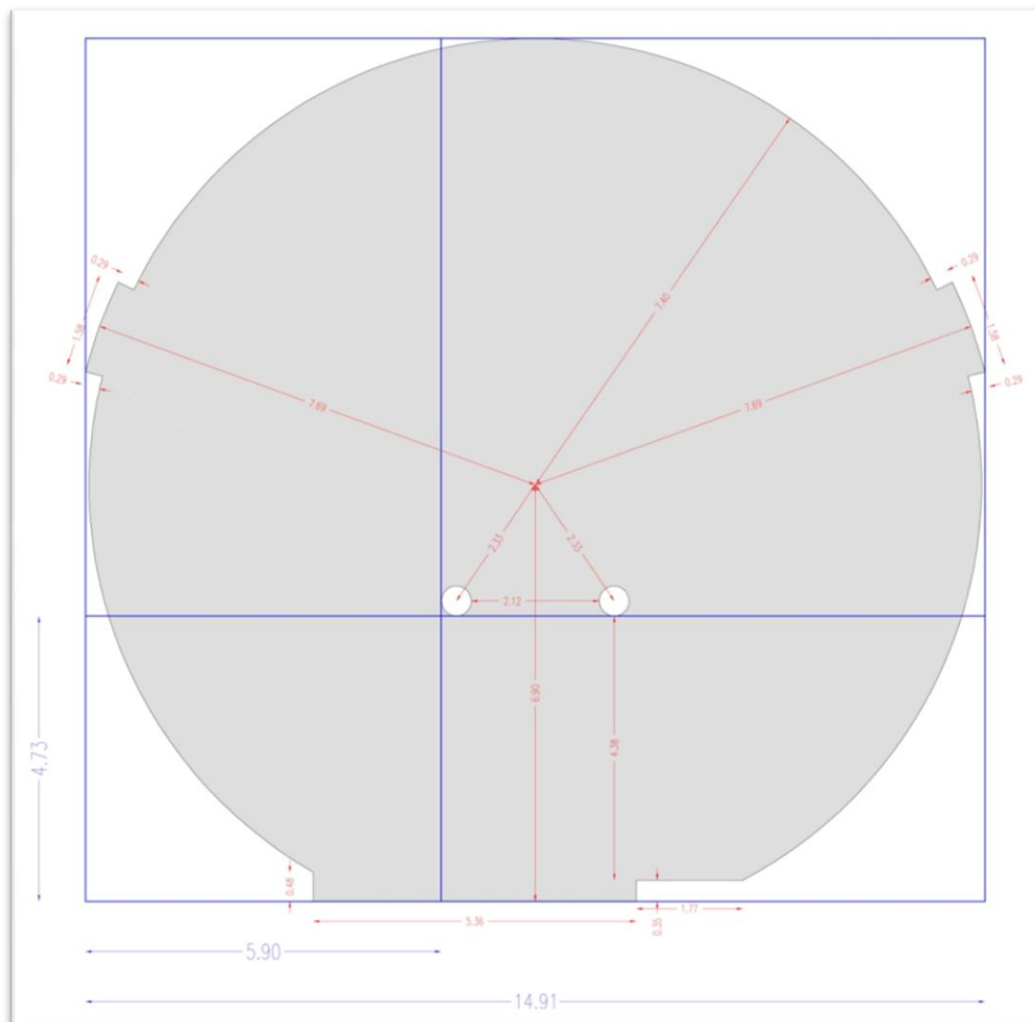


IMAGEN 62: EJES IMAGINARIOS DEL TERCER ENTORNO

Para poder facilitar el trabajo con estos ejes, se decidió montarlos en el terreno utilizando cinta de carroceros, consiguiendo así un fácil replanteo de cualquier punto en función de los ejes. Las siguientes imágenes muestran los ejes desplegados en la estancia:



IMAGEN 63: DESPLIEGUE DE LOS EJES DEL TERCER ENTORNO (1)



IMAGEN 64: DESPLIEGUE DE LOS EJES DEL TERCER ENTORNO (2)

Una vez realizado el despliegue de los ejes, resultaba muy sencillo replantear cualquier punto de la sala, midiendo la distancia a cada uno de estos ejes y realizando la transformación adecuada contando con las coordenadas base de los ejes.

INSTALACIÓN DEL SISTEMA

Para la localización en el tercer entorno se ha dispuesto de cinco antenas situadas en el perímetro de la estancia, tratando de crear un área interna lo mayor posible.



IMAGEN 65: ANTENA DEL TERCER ENTORNO

Al igual que en el segundo entorno, las antenas debían ir conectadas directamente al Aruba, por lo que hubo que realizar el despliegue de cables adecuado.

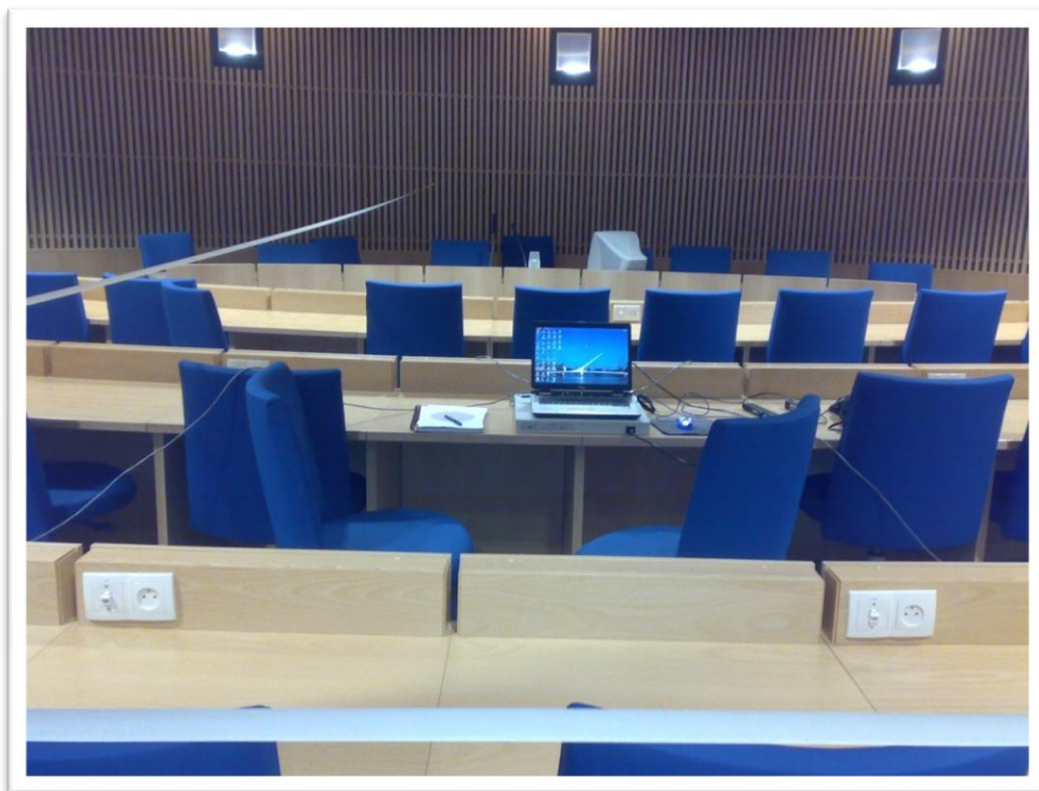


IMAGEN 66: DESPLIEGUE DE CABLES DEL TERCER ENTORNO

Por lo demás la instalación del sistema no tuvo mayores complicaciones.

MEDICIÓN

En este tercer entorno hemos realizado mediciones en cinco posiciones características.

A fin de poder realizar una correcta exposición de los datos, se presenta un conjunto de tablas resumen con las variables más significativas para cada una de las posiciones localizadas.

Posición	Posición Real		Media Localización Aruba		Varianza Localización Aruba	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
1	7.00 m	9.00 m	5.96 m	8.56 m	0.11 m	0.14 m
2	13.00 m	7.00 m	10.12 m	4.31 m	0.05 m	0.07 m
3	5.00 m	0.30 m	5.41 m	5.41 m	0.07 m	0.04 m
4	4.00 m	7.00 m	6.92 m	6.05 m	0.89 m	0.15 m
5	4.00 m	12.00 m	3.89 m	8.46 m	0.02 m	0.03 m

TABLA 20: LOCALIZACIÓN EN EL TERCER ENTORNO

En esta tabla podemos observar la varianza sufrida por las mediciones realizadas. Los resultados obtenidos son bastante adecuados ya que la varianza se mantiene siempre por debajo de un metro cuadrado.

Posición	Posición Real		Media del Error		Varianza del Error	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
1	7.00 m	9.00 m	1.04 m	0.45 m	0.11 m	0.14 m
2	13.00 m	7.00 m	2.88 m	2.69 m	0.05 m	0.07 m
3	5.00 m	0.30 m	0.41 m	5.11 m	0.07 m	0.04 m
4	4.00 m	7.00 m	3.11 m	0.98 m	1.28 m	0.12 m
5	4.00 m	12.00 m	0.11 m	3.54 m	0.02 m	0.03 m

TABLA 21: MEDIDA DEL ERROR EN EL TERCER ENTORNO

En la tabla anterior observamos que el error cometido por el sistema en la localización oscila típicamente entre los 1-3 metros en cada eje, a excepción del eje Y en la tercera posición.

En la tabla también se puede observar que si bien el error oscila tres metros arriba o abajo, lo hace igual en ambos ejes, lo cual tiene sentido ya que se trata de un entorno circular con la misma información para realizar la localización en ambos ejes.

Además destaca que la varianza del error es muy reducida, y solo supera el metro cuadrado en una ocasión.

Posición	Posición Real		Media Localización Aruba		Distancia media del Error	Varianza del Error
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y		
1	7.00 m	9.00 m	5.96 m	8.56 m	1.21 m	0.06 m
2	13.00 m	7.00 m	10.12 m	4.31 m	3.95 m	0.04 m
3	5.00 m	0.30 m	5.41 m	5.41 m	5.13 m	0.03 m
4	4.00 m	7.00 m	6.92 m	6.05 m	3.26 m	0.19 m

Aruba 2400

5	4.00 m	12.00 m	3.89 m	8.46 m	3.55 m	0.03 m
---	--------	---------	--------	--------	--------	--------

TABLA 22: DISTANCIA MEDIA DEL ERROR EN EL TERCER ENTORNO

Al evaluar la distancia (bidimensional) entre la posición real del dispositivo y la localización del Aruba observamos que de nuevo (al igual que en las primeras mediciones del primer entorno) el error oscila en torno a tres metros, a excepción de la tercera medición en la que es un poco mayor.

Además, en este caso podemos comprobar que la varianza del error es muy reducida.

CONCLUSIONES

Por tanto podemos concluir, que si la cobertura y la geometría son adecuadas, el sistema comete un error de aproximadamente tres metros.

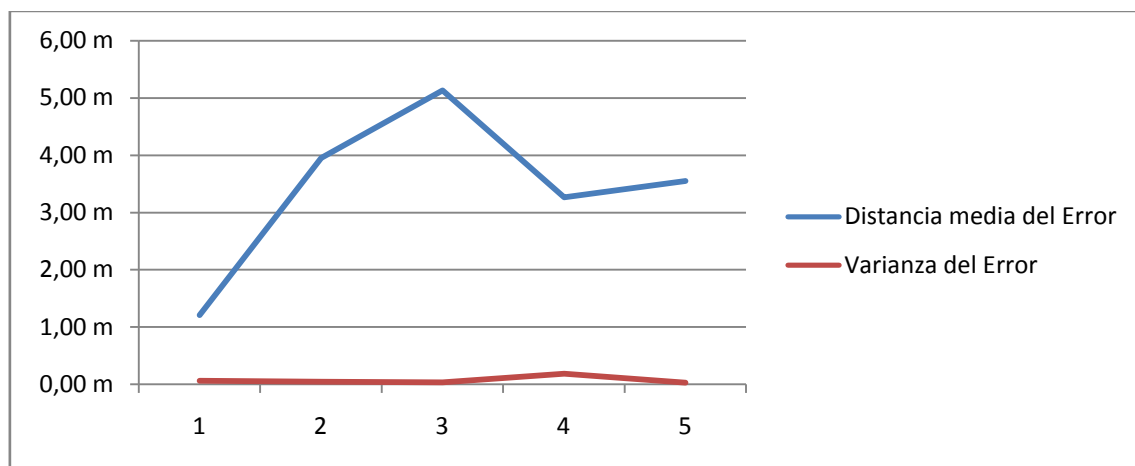


GRÁFICO 7: DISTANCIA DEL ERROR EN EL TERCER ENTORNO

Esto significa que la posición real del objeto dista tres metros de la calculada por el sistema, por tanto, una vez realizada la localización del dispositivo, éste se encontrará dentro de un área circular de aproximadamente 28 metros cuadrados.



IMAGEN 67: ÁREA POSIBLE DE LOCALIZACIÓN

Además, hemos observado que la particular geometría de la sala (circular) no ha afectado a las mediciones, por lo que podemos pensar que siempre y cuando se pueda establecer una buena cobertura y se sigan los principios básicos de la triangulación (véase Imagen 40: Triangulación) se obtendrán los resultados esperados.

ENTORNO 4: GARAJE

LOCALIZACIÓN

Tal y como se describió anteriormente, todos los entornos seleccionados para este trabajo se encuentran en el campus de Colmenarejo de la universidad Carlos III de Madrid.

El cuarto entorno consiste en el garaje del subsuelo del edificio Miguel de Unamuno.

Este entorno nos ofrece la posibilidad de comprobar el comportamiento del sistema en un entorno con obstáculos de diferentes materiales tales como coches o columnas.

Es importante destacar que debido a las posibilidades del despliegue del sistema, no se ha tenido en cuenta todo el garaje, tan sólo la zona comprendida entre la puerta y las primeras cinco filas de columnas.

CREACIÓN DEL PLAN

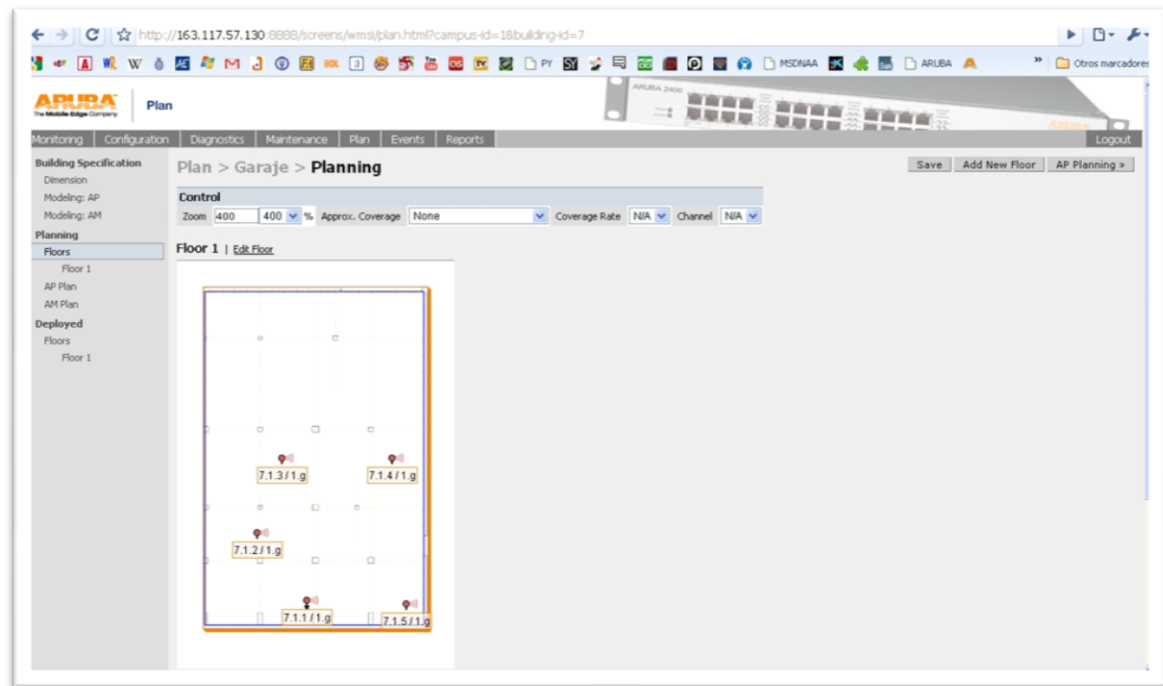


IMAGEN 69: PLAN GARAJE

REPLANTEO

La realización del replanteo en este cuarto entorno ha sido la más sencilla de todas.

Para obtener la coordenada Y de un punto, bastaba con medir la distancia a la pared inferior mostrada en la Imagen 68: Plano del garaje.

Para la coordenada X, no era mucho más difícil. Medimos la distancia del punto a la pared de la derecha de la Imagen 68: Plano del garaje, y utilizamos esa cantidad para restársela al ancho total del rectángulo, obteniendo así la coordenada.

INSTALACIÓN DEL SISTEMA

Para la localización en el cuarto entorno se ha dispuesto de cinco antenas situadas en forma de pentágono, obteniendo así dos áreas diferenciadas, la primera con una cobertura optima para el replanteo y la segunda (fuera del pentágono) para observar el comportamiento en esas circunstancias del sistema.

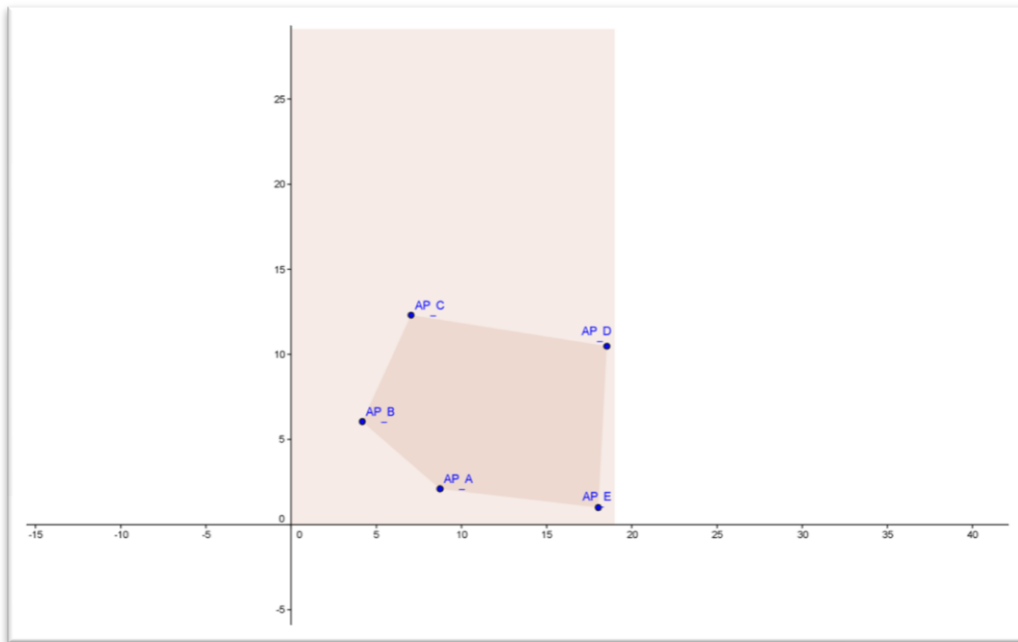


IMAGEN 70: CONFIGURACIÓN ANTENAS DEL CUARTO ENTORNO

Al igual que en los dos entornos anteriores, las antenas debían ir conectadas directamente al Aruba, por lo que hubo que realizar el despliegue de cables adecuado.



IMAGEN 71: DESPLIEGUE DE CABLES DEL CUARTO ENTORNO

Por lo demás la instalación del sistema no tuvo mayores complicaciones.

MEDICIÓN

En este cuarto entorno hemos realizado mediciones en cinco posiciones características.

A fin de poder realizar una correcta exposición de los datos, se presenta un conjunto de tablas resumen con las variables más significativas para cada una de las posiciones localizadas.

Posición	Posición Real		Media Localización Aruba		Varianza Localización Aruba	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
1	11.33 m	7.49 m	10.93 m	8.12 m	0.25 m	0.90 m
2	17.70 m	6.44 m	14.68 m	7.19 m	0.73 m	0.69 m
3	9.90 m	10.38 m	13.75 m	8.99 m	0.99 m	0.75 m
4	18.59 m	19.08 m	19.07 m	7.10 m	22.16 m	0.50 m
5	4.08 m	9.17 m	2.74 m	7.67 m	7.30 m	10.04 m

TABLA 23: LOCALIZACIÓN EN EL CUARTO ENTORNO

En esta tabla podemos observar la varianza sufrida por las mediciones realizadas. Los resultados obtenidos podrían clasificarse en dos grupos, las tres primeras mediciones con varianzas muy reducidas y las dos siguientes con varianzas muy elevadas.

Si observamos las mediciones realizadas comprobaremos que las tres primeras corresponden a posiciones dentro del perímetro descrito por las antenas mientras que las dos últimas no. Por lo que en principio este hecho sería el responsable de la situación.

Posición	Posición Real		Media del Error		Varianza del Error	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
1	11.33 m	7.49 m	0.45 m	0.83 m	0.25 m	0.90 m
2	17.70 m	6.44 m	3.02 m	0.95 m	0.73 m	0.69 m
3	9.90 m	10.38 m	3.85 m	1.41 m	0.99 m	0.75 m
4	18.59 m	19.08 m	4.53 m	11.98 m	22.16 m	0.50 m
5	4.08 m	9.17 m	2.76 m	2.98 m	7.30 m	10.04 m

TABLA 24: MEDIDA DEL ERROR EN EL CUARTO ENTORNO

En la tabla anterior observamos que el error cometido por el sistema en la localización oscila típicamente entre los 1-3 metros en cada eje, a excepción de la posición 4 en la que el error en el eje Y se dispara hasta llegar a los 12 metros. Recordemos que esta posición se encontraba fuera del perímetro de las antenas.

En la tabla también se puede observar que la varianza del error se encuentra dividida en dos grupos al igual que lo estaba la de la posición de la tabla Tabla 23: Localización en el cuarto entorno.

Posición	Posición Real		Media Localización Aruba		Distancia media del Error	Varianza del Error
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y		
1	11.33 m	7.49 m	10.93 m	8.12 m	1.04 m	0.63 m
2	17.70 m	6.44 m	14.68 m	7.19 m	3.24 m	0.61 m
3	9.90 m	10.38 m	13.75 m	8.99 m	4.19 m	0.95 m
4	18.59 m	19.08 m	19.07 m	7.10 m	12.86 m	0.89 m
5	4.08 m	9.17 m	2.74 m	7.67 m	4.45 m	2.70 m

TABLA 25: DISTANCIA MEDIA DEL ERROR EN EL CUARTO ENTORNO

Al evaluar la distancia (bidimensional) entre la posición real del dispositivo y la localización del Aruba observamos que en las primeras medidas vuelve a obtener resultados cercanos a los tres metros, mientras que la cuarta posición muestra un error muy elevado, representado por la siguiente imagen:

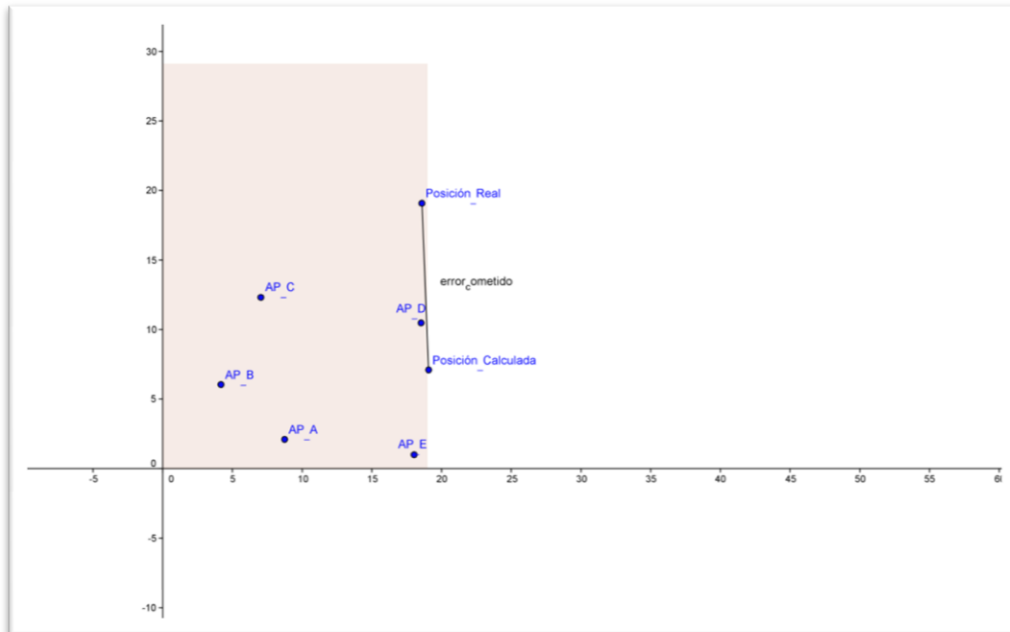


IMAGEN 72: LOCALIZACIÓN POSICIÓN CUATRO DEL CUARTO ENTORNO

Tal y como se observa en la imagen el fallo de la localización es debido a la incapacidad de calcular la coordenada Y del dispositivo.

CONCLUSIONES

Podemos decir que los datos de este experimento han sido de menor precisión que los obtenidos en los experimentos anteriores.

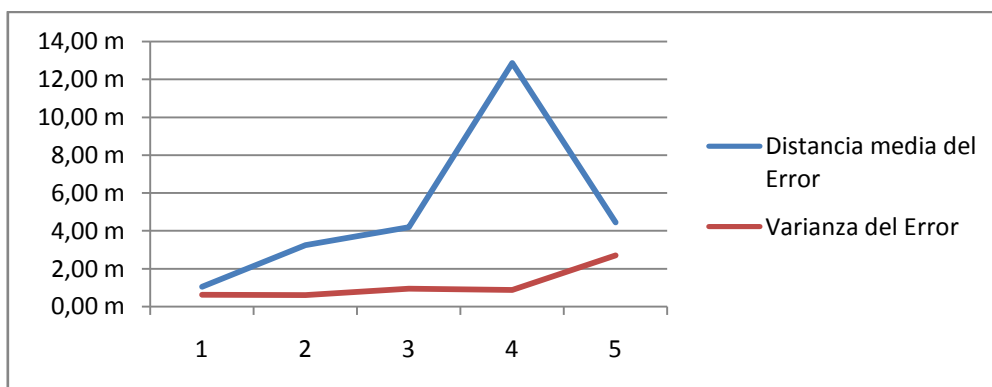


GRÁFICO 8: DISTANCIA DEL ERROR EN EL CUARTO ENTORNO

Por lo que debemos estudiar si los obstáculos encontrados en la emisión de la señal han podido ser los causantes de esa pérdida de precisión, o quizás se deba a que el plan introducido en el sistema no se correspondía con la estancia real (por haber seleccionado tan sólo una parte del garaje).

ENTORNO 5: JARDÍN

LOCALIZACIÓN

Tal y como se describió anteriormente, todos los entornos seleccionados para este trabajo se encuentran en el campus de Colmenarejo de la universidad Carlos III de Madrid.

Para este quinto entorno hemos seleccionado como escenario los jardines localizados en la fachada Oeste del edificio Miguel de Unamuno, junto a la ventada del laboratorio del grupo de inteligencia artificial aplicada (GIAA)

Este escenario nos ofrece la posibilidad de estudiar el comportamiento del sistema en entornos al aire libre, en los que la señal no puede rebotar contra el techo o las paredes y en los que los espacios son amplios. Además es un espacio con una baja intensidad de ruido electromagnético, por lo que las interferencias esperadas son menores.

El área seleccionada para el experimento se compone de un rectángulo de aproximadamente de 230 metros cuadrados (20'5 m por 11'2 m).

Una de las peculiaridades a tener en cuenta del escenario es la ausencia de corriente eléctrica, por lo que se ha necesitado disponer de alargadores para conseguir llevar electricidad al equipo Aruba. En un escenario real, el dispositivo principal Aruba (el switch) se encontraría en el interior, necesitando llevar desde él hasta la disposición de las antenas cables de red.

CREACIÓN DEL PLAN

Para la creación del plan del quinto entorno hemos necesitado generar los planos del rectángulo del jardín dispuesto para el experimento a partir de mediciones realizadas sobre el terreno con el medidor laser.

A continuación se muestra una imagen del aspecto final del plan creado:

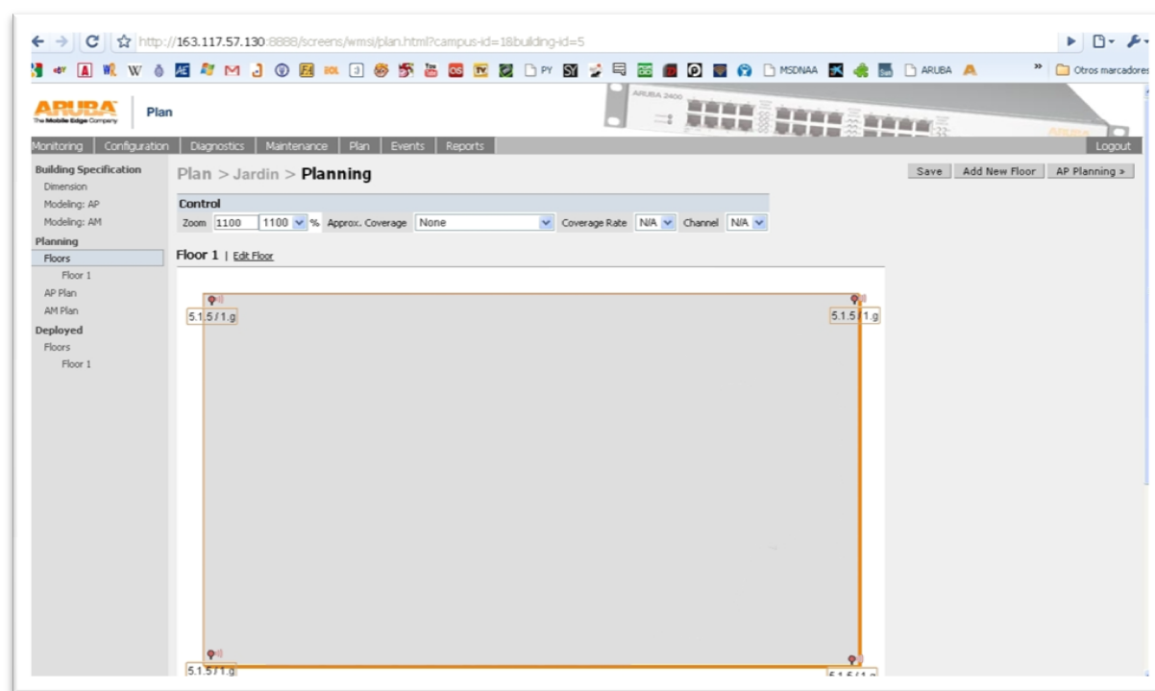


IMAGEN 73: PLAN JARDÍN

REPLANTEO

En este quinto entorno se ha realizado un replanteo en función de las coordenadas x e y representadas por la base del rectángulo y el lado izquierdo respectivamente.

Una vez marcados estos dos ejes, se han tomado tres mediciones en cada uno de ellos, obteniendo así: $x_1 = 3'128$ m, $x_2 = 6'724$ m, $x_3 = 12'228$ m, $y_1 = 3'210$ m, $y_2 = 6'075$ m, $y_3 = 8'007$ m. A partir de estos puntos, y mediante perpendiculares, se han obtenido los cinco puntos en el espacio utilizados durante el experimento: $P_1 = (x_1, y_1)$, $P_2 = (x_2, y_2)$, $P_3 = (x_3, y_2)$, $P_4 = (x_1, y_3)$, $P_5 = (x_3, y_3)$.

Cabe destacar que al realizarse las mediciones al aire libre y durante el día, nos encontramos ante la dificultad añadida de utilizar el medidor laser con tanta luminosidad, no siendo fácil encontrar en cada momento el puntero indicador.

INSTALACIÓN DEL SISTEMA

Para la localización en el quinto entorno se ha dispuesto de cuatro antenas situadas en forma de rectángulo, situando el plan de localización dentro de ese mismo rectángulo. Por ello cada punto localizado cuenta con una cobertura optima para la localización.

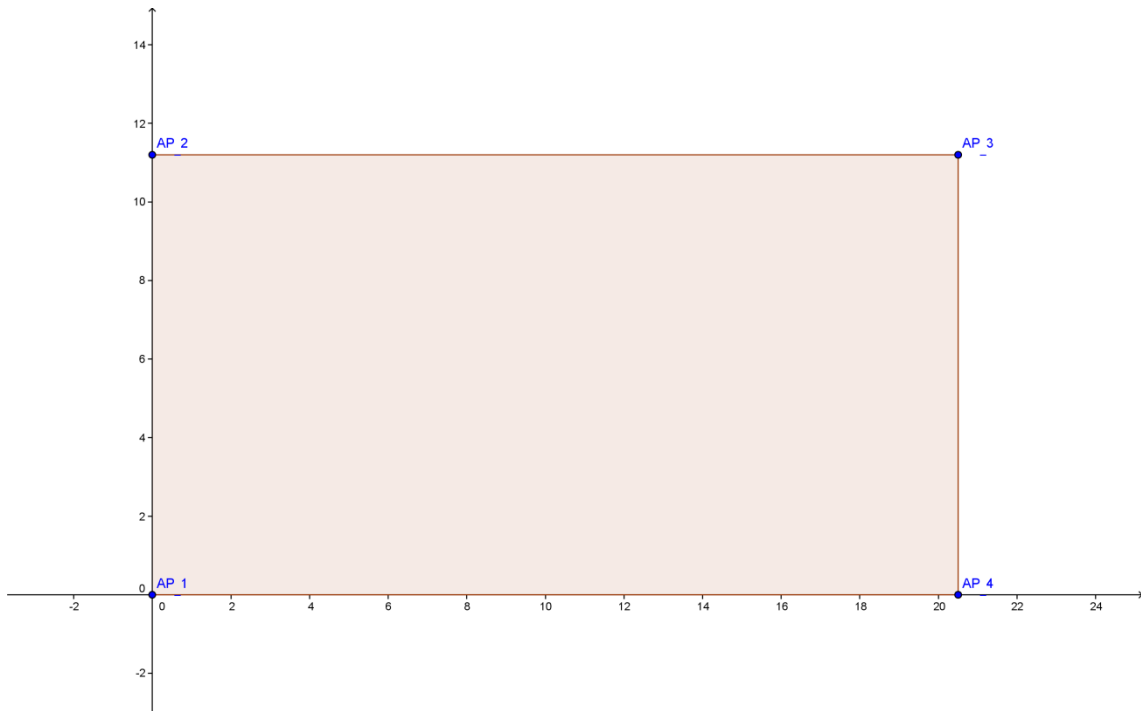


IMAGEN 74: CONFIGURACIÓN ANTENAS DEL QUINTO ENTORNO

Al igual que en los dos entornos anteriores, las antenas debían ir conectadas directamente al Aruba, por lo que hubo que realizar el despliegue de cables adecuado. Además, tal y como se ha comentado anteriormente, fue necesario llevar electricidad al entorno mediante alargadores.



IMAGEN 75: DESPLIEGUE DE CABLES DEL QUINTO ENTORNO (I)



IMAGEN 76: DESPLIEGUE DE CABLES DEL QUINTO ENTORNO (II)

Por lo demás la instalación del sistema no tuvo mayores complicaciones.

MEDICIÓN

En este quinto entorno hemos realizado mediciones en cinco posiciones características.

A fin de poder realizar una correcta exposición de los datos, se presenta un conjunto de tablas resumen con las variables más significativas para cada una de las posiciones localizadas.

Posición	Posición Real		Media Localización Aruba		Varianza Localización Aruba	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
1	3.13 m	8.01 m	4.16 m	7.41 m	0.25 m	0.09 m
2	6.72 m	6.08 m	6.04 m	5.35 m	0.27 m	0.05 m
3	12.23 m	6.08 m	10.89 m	5.38 m	0.15 m	0.09 m
4	3.13 m	3.21 m	4.28 m	4.55 m	0.23 m	0.16 m
5	12.23 m	3.21 m	10.20 m	3.50 m	0.25 m	0.05 m

TABLA 26: LOCALIZACIÓN EN EL QUINTO ENTORNO

En esta tabla podemos observar la varianza de las mediciones realizadas, se comprueba que resulta mayor en el eje X con valores en torno 0.2 y menor en el eje Y con valores entorno a 0'1.

Aruba 2400

Posición	Posición Real		Media del Error		Varianza del Error	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
1	3.13 m	8.01 m	0.92 m	0.50 m	0.25 m	0.09 m
2	6.72 m	6.08 m	0.51 m	0.68 m	0.20 m	0.05 m
3	12.23 m	6.08 m	1.27 m	0.61 m	0.15 m	0.09 m
4	3.13 m	3.21 m	1.04 m	1.29 m	0.23 m	0.16 m
5	12.23 m	3.21 m	1.96 m	0.23 m	0.25 m	0.04 m

TABLA 27: MEDIDA DEL ERROR EN EL QUINTO ENTORNO

En la tabla anterior observamos que el error cometido por el sistema en la localización oscila típicamente entre los 1-2 metros en cada eje, obteniendo buenos resultados en comparación con los obtenidos en otros escenarios.

En la tabla también se puede observar que la varianza del error se encuentra en valores próximos a 0'2.

Posición	Posición Real		Media Localización Aruba		Distancia media del Error	Varianza del Error
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y		
1	3.13 m	8.01 m	4.16 m	7.41 m	1.18 m	0.19 m
2	6.72 m	6.08 m	6.04 m	5.35 m	1.04 m	0.09 m
3	12.23 m	6.08 m	10.89 m	5.38 m	1.47 m	0.15 m
4	3.13 m	3.21 m	4.28 m	4.55 m	1.79 m	0.18 m
5	12.23 m	3.21 m	10.20 m	3.50 m	1.99 m	0.25 m

TABLA 28: DISTANCIA MEDIA DEL ERROR EN EL QUINTO ENTORNO

Al evaluar la distancia (bidimensional) entre la posición real del dispositivo y la localización del Aruba observamos que las mediciones se alejan 1 o 2 metros de la posición real.

CONCLUSIONES

Podemos decir que los datos de este experimento han sido de mayor precisión que los obtenidos en los experimentos anteriores. Debido probablemente a la buena disposición geométrica de las antenas y a la ausencia de interferencias electromagnéticas.

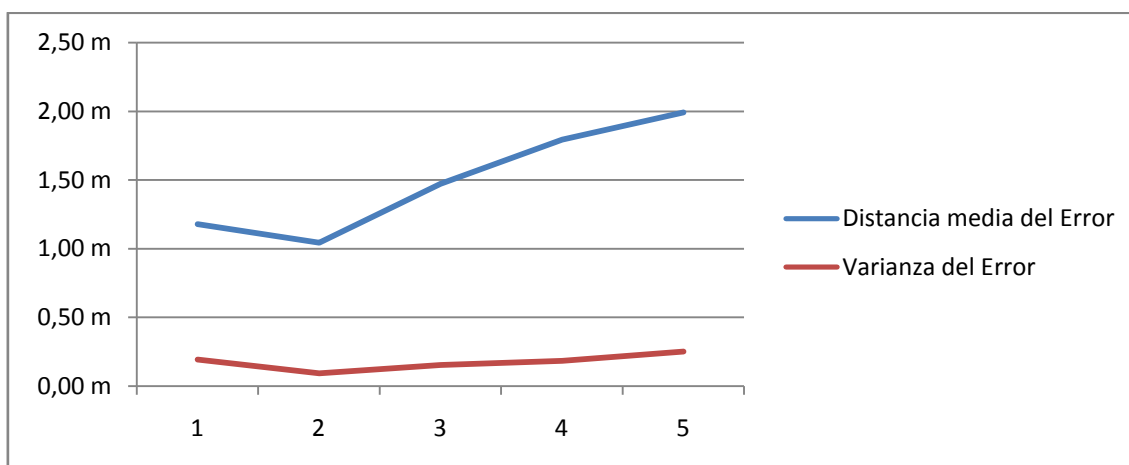


GRÁFICO 9: DISTANCIA DEL ERROR EN EL QUINTO ENTORNO

Por lo que parece que el sistema es igual de apto para realizar la localización tanto en entornos cerrados como en entornos al aire libre.

VI. ANEXO A: PROGRAMA DE MEDICIÓN

El siguiente anexo muestra la documentación relacionada con el programa Java utilizado para realizar los experimentos de medición relatados en los apartados anteriores.

El código del programa se ha distribuido en cinco bloques funcionales (cinco paquetes Java) llamados:

- es.uc3m.giaa.aruba.entradaSalida
- es.uc3m.giaa.aruba.http
- es.uc3m.giaa.aruba.localizacion
- es.uc3m.giaa.aruba.principal
- es.uc3m.giaa.aruba.xml

A continuación se presenta una explicación de la funcionalidad de cada uno de ellos seguido de un estudio más detallado de cada una de sus clases.

ES.UC3M.GIAA.ARUBA.ENTRADASALIDA

El paquete entradaSalida se encarga de todo lo relacionado con la entrada y salida de datos del programa.

Consta de dos clases, la primera consta de todo lo necesario para interactuar en formato de texto con el usuario.

De esta manera el programa va pidiendo al usuario (por la consola de comandos) todos los datos necesarios para la medición.

La segunda clase es la encargada de realizar el volcado de los datos obtenidos en la medición en el disco duro.

Para ello almacena un archivo de texto plano (en formato XML) para cada una de las mediciones de una localización, y un archivo de Excel (en formato .csv) con el resumen de todos los datos obtenidos para una localización en concreto.

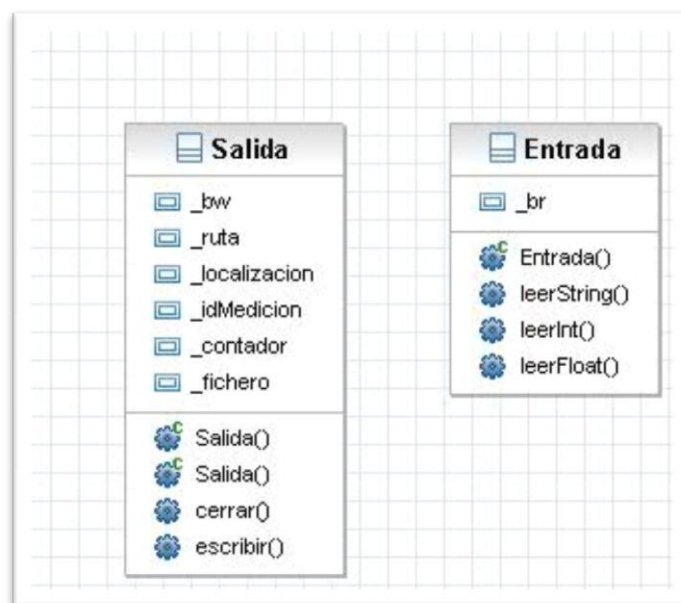


IMAGEN 77: CLASES DEL PAQUETE ENTRADASALIDA

ES.UC3M.GIAA.ARUBA.HTTP

El paquete http es el encargado de tratar todos los asuntos relacionados con la conexión al switch Aruba, gestión de la conexión, almacenamiento y uso de las *cookies*²⁸, envío y recibo de información, cierre de la conexión, etc.

Para ello cuenta con las clases GestiónWeb y CabeceraRespuesta, la primera realiza toda la gestión, mientras que la segunda sirve para implementar las cabeceras necesarias tras la conexión.

Es importante destacar que este paquete se ha codificado otorgándole una funcionalidad muy por encima de lo necesario para esta aplicación, permitiendo la gestión de multitud de cabeceras http no soportadas por el sistema Aruba 2400. Esto es así para poder aumentar la funcionalidad del programa en caso de ser modificado el gestor http del sistema Aruba, y para favorecer la reutilización de este paquete en otras aplicaciones diferentes.

²⁸ Sistema utilizado por el protocolo http para la gestión del estado.

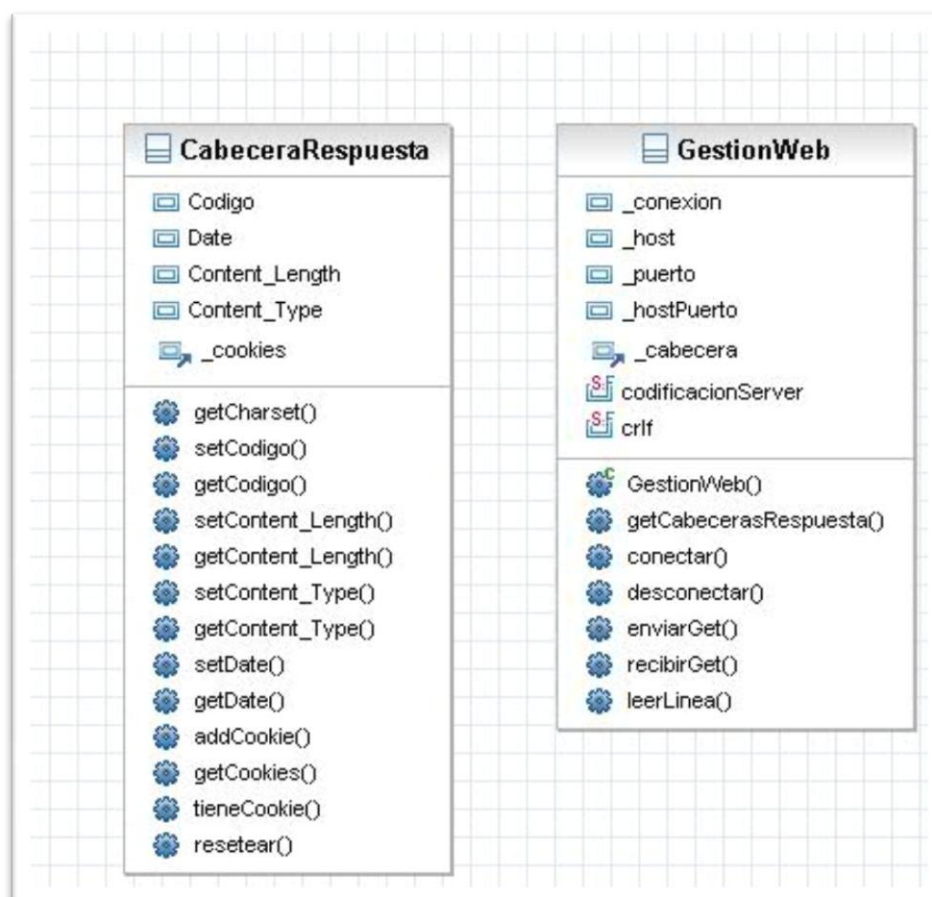


IMAGEN 78: CLASES DEL PAQUETE HTTP

ES.UC3M.GIAA.ARUBA.LOCALIZACION

El paquete localizacion se encarga de dos cometidos principales. En primer lugar es el encargado de gestionar la localización llevada a cabo por el sistema Aruba 2400, obteniendo los datos necesarios y almacenándolos con la ayuda del resto de paquetes.

Además, el paquete localizacion está pensado para poder implementar (a partir de las clases ya creadas) sistemas de localización propios que hagan uso de la información obtenida del sistema Aruba. De esta forma, pueden implementarse en un futuro sistemas de localización más complejos que realicen por sí mismos la triangulación, incluyendo quizás porciones de información más compleja o provenientes de otros sistemas.

La siguiente imagen ilustra cada una de las clases contenidas en el paquete:

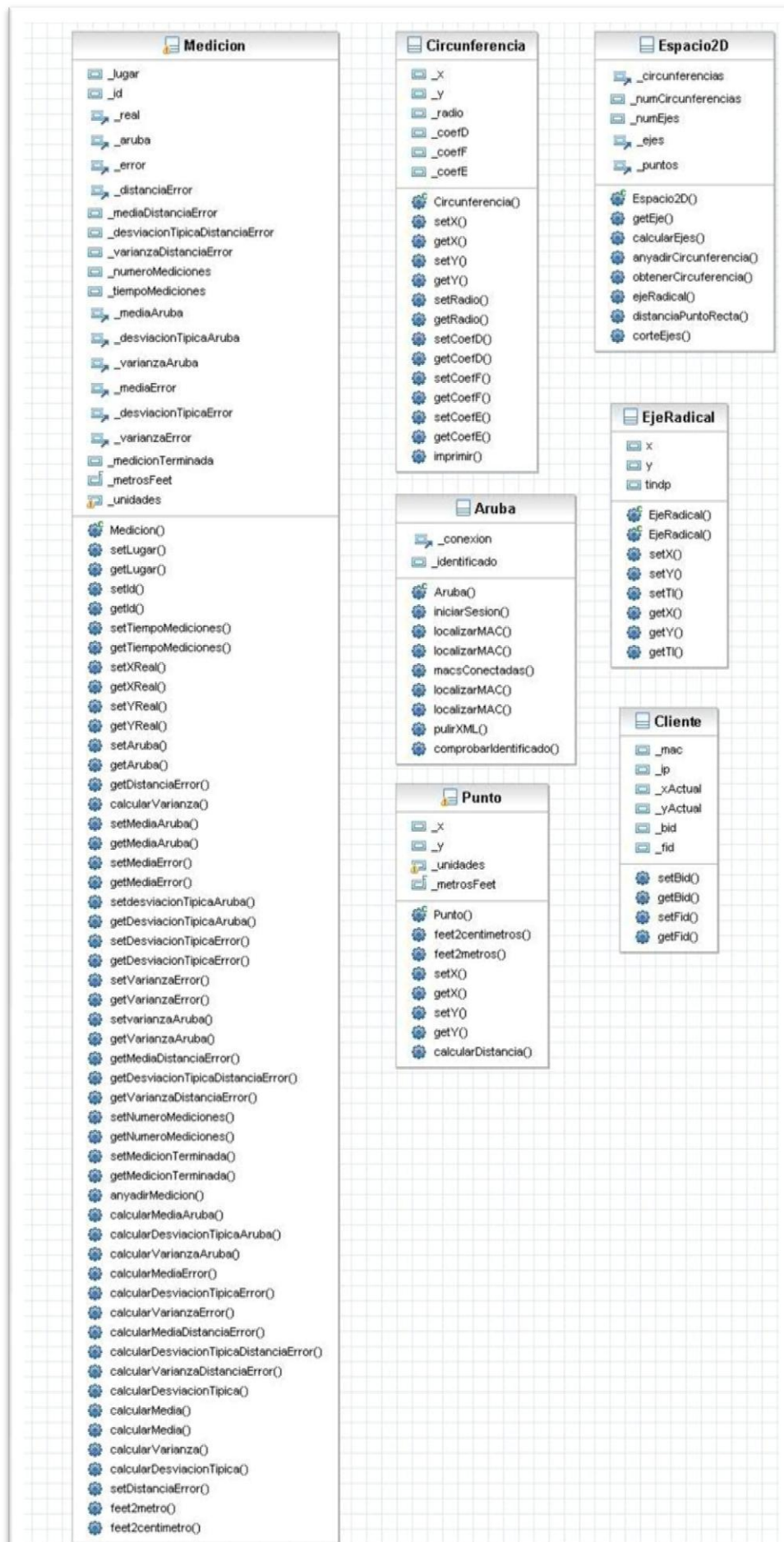


IMAGEN 79: CLASES DEL PAQUETE LOCALIZACION

ES.UC3M.GIAA.ARUBA.PRINCIPAL

El paquete principal es el encargado de lanzar la aplicación, en el reside la clase que contiene el método *main()* y su funcionalidad está limitada a ello.

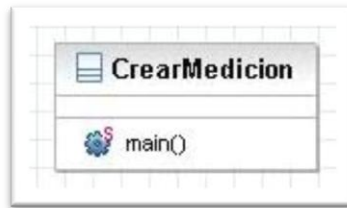


IMAGEN 80: CLASES DEL PAQUETE PRINCIPAL

ES.UC3M.GIAA.ARUBA.XML

El paquete xml contiene todo lo necesario para la gestión de los documentos estructurados de etiquetado.

De esta manera se realiza el parseo de los datos obtenidos del sistema Aruba a los ficheros de salida (comentados en el paquete entradaSalida) en formato XML.

Para ello se ha implementado la estructura de árbol presente en los ficheros de salida mediante la creación de las clases del paquete.

La siguiente imagen muestra las clases de las que se compone, y dan una idea muy clara de la estructura final de los ficheros de datos de cada una de las mediciones:

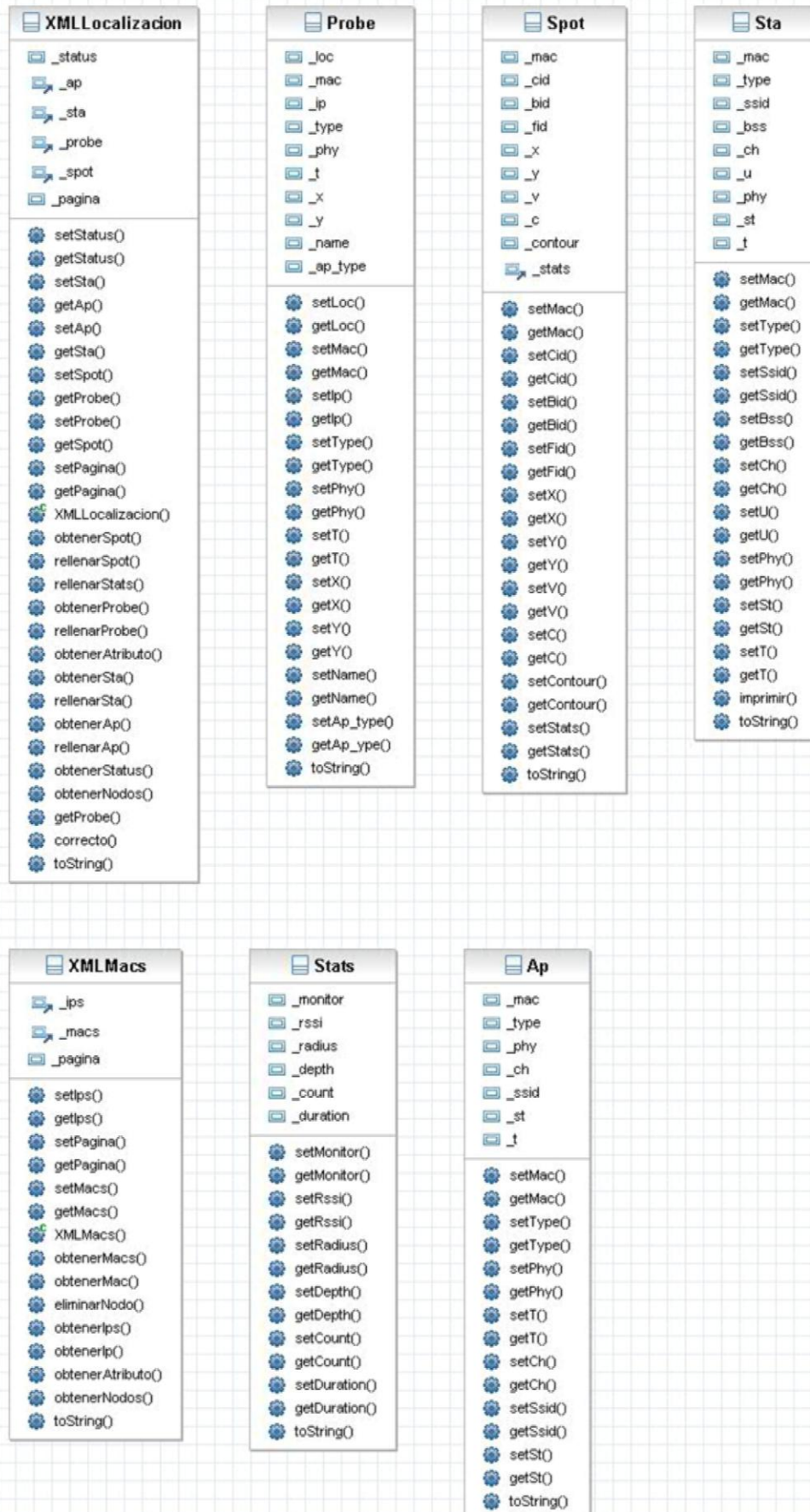


IMAGEN 81: CLASES DEL PAQUETE XML